

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Goran Vujnović**

**„NETWORKING AS A SERVICE“ KAO MODEL  
RAČUNALSTVA U OBLAKU**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2015.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **Završni rad**

**„NETWORKING AS A SERVICE“ KAO MODEL  
RAČUNALSTVA U OBLAKU**

**„NETWORKING AS A SERVICE“ AS A CLOUD  
COMPUTING MODEL**

Mentor: dr. sc. Ivan Grgurević

Student: Goran Vujnović, 0135223976

Datum obrane: 15. rujna 2015.

Zagreb, 2015.

## „NETWORKING AS A SERVICE“ KAO MODEL RAČUNALSTVA U OBLAKU

### SAŽETAK

Računalstvo u oblaku (engl. *Cloud computing*) je oblik programskog okruženja koji kao svoju platformu koristi Internet. Ono omogućava da se aplikacije i dokumenti poslani iz bilo kojeg dijela svijeta pohrane i čuvaju na za to predviđenim poslužiteljima. Računalstvo u oblaku ima sljedeće glavne karakteristike: usluga na zahtjev, širok mrežni pristup, brza elastičnost, udruživanje resursa i odmjerena usluga. Gledajući s aspekta infrastrukture, oblaci se mogu podijeliti na: javne oblake, privatne oblake, hibridne oblake i zajedničke oblake. Vrlo bitan koncept *clouda* je tehnologija mrežne virtualizacije, koja se dijeli na: virtualizaciju memorije, virtualizaciju programa te virtualizaciju računalnog sustava. Kako je popularnost računalstva u oblaku rasla, pojavilo se nekoliko različitih metoda i implementacijskih strategija kako bi se zadovoljile potrebe korisnika. Svaki od tri glavna arhitekturna modela, odnosno program, platforma i infrastruktura pruža različite razine kontrole, fleksibilnosti i upravljanja. U završnom radu opisane su tehnologije mrežne virtualizacije i analizirani koncept i modeli računalstva u oblaku. Napravljen je pregled funkcionalnosti modela računalstva u oblaku s posebnim naglaskom na model "*Networking as a Service*" - NaaS. Posebno je analizirana primjena i razvoj modela NaaS.

**KLJUČNE RIJEČI:** računalstvo u oblaku; virtualizacija; mreža kao usluga (NaaS); softver kao usluga (SaaS); platforma kao usluga (PaaS); infrastruktura kao usluga (IaaS)

### SUMMARY

Cloud computing is a part of a programming environment that uses the Internet as its platform. It enables storing and saving of applications and documents, sent from all over the world, to specific servers. The main characteristics of cloud computing are: on-demand self-service, broad network access, rapid elasticity, resource pooling and measured service. Considering the aspect of infrastructure, clouds come in four forms: public clouds, private clouds, hybrid clouds and community clouds. Network virtualization technology is a very important concept of cloud which consists of memory virtualization, program virtualization and computer system virtualization. As cloud computing has grown in popularity, several different models and deployment strategies have emerged to help meet specific needs of different users. Each of the three basic architectural models, software, platform and infrastructure, provides different levels of control, flexibility, and management. This paper describes technologies of network virtualization and also analyses the concept and models of cloud computing. It gives a review of the functionalities of cloud computing, with particular emphasis on the „Networking as a Service“ model – NaaS. Special attention has been given to the application and development of NaaS model.

**KEYWORDS:** cloud computing; virtualization; networking as a service (NaaS); softver as a service (SaaS); platform as a service (PaaS); infrastructure as a service (IaaS)

## Sadržaj:

1. Uvod .....	1
2. Računalstvo u oblaku .....	3
2.1. Arhitektura računalstva u oblaku .....	5
2.2. Karakteristike računalstva u oblaku .....	8
2.2.1. Usluga na zahtjev .....	8
2.2.2. Širok mrežni pristup.....	9
2.2.3. Brza elastičnost.....	9
2.2.4. Udruživanje resursa.....	10
2.2.5. Odmjerena usluga.....	10
2.3. Infrastruktura platforme računalstva u oblaku .....	11
2.3.1. Javni oblak.....	11
2.3.2. Privatni oblak .....	12
2.3.3. Hibridni oblak.....	13
2.3.4. Zajednički oblak.....	14
3. Tehnologije mrežne virtualizacije .....	15
3.1. Virtualizacija programa .....	15
3.2. Virtualizacija memorije .....	16
3.3. Virtualizacija računalnog sustava.....	18
3.3.1. Potpuna virtualizacija .....	18
3.3.2. Djelomična virtualizacija .....	19
3.3.3. Sklopovski potpomognuta virtualizacija.....	20
3.3.4. Virtualizacija na razini OS-a.....	21
3.3.5. Usporedba svih tehnika virtualizacije .....	22
4. Koncept i modeli računalstva u oblaku .....	23
4.1. Softver kao usluga (SaaS) .....	24
4.2. Platforma kao usluga (PaaS) .....	26
4.3. Infrastruktura kao usluga (IaaS) .....	28
5. Pregled i funkcionalnost NaaS modela računalstva u oblaku .....	30

5.1. Funkcionalnosti NaaS modela .....	31
5.2. Prednosti i nedostaci NaaS modela .....	36
6. Primjena i razvoj modela NaaS .....	38
6.1. Virtualna privatna mreža – VPN .....	38
6.2. Virtualni privatni oblak – VPC .....	41
6.3. Propusnost na zahtjev – BoD .....	41
6.4. Mobilni virtualni mrežni operator - MVNO .....	42
7. Zaključak.....	43
Literatura.....	44
Popis slika i tablica .....	46
Popis slika .....	46
Popis tablica .....	47
Popis kratica i akronima .....	48

# 1. Uvod

Računalstvo u oblaku (engl. *Cloud computing*) je tehnologija kod koje su IT stručnjaci težili prema povećanju kapaciteta i dodavanju novih mogućnosti na sustave koje koriste bez investiranja u novu infrastrukturu i potrebe za osposobljavanjem novog osoblja te troškova novih licenciranih programa. *Network as a Service* predstavlja dio računalstva u oblaku koji omogućava korisniku upotrebu mrežnih servisa i servisa mrežnog povezivanja unutar oblaka.

Tema završnog rada je „Networking as a Service“ kao model računalstva u oblaku. Cilj završnog rada je istražiti postojeće funkcionalnosti NaaS modela, te kroz primjere prikazati njegov razvoj i primjenu.

Svrha ovog rada je predstaviti specifičnosti NaaS usluge i analizom njenih značajki prikazati potencijalnu dobrobit za korisnike te istovremeno upozoriti na nedostatke koji se moraju ispraviti kako bi uistinu predstavljao budućnost umrežavanja.

Završni rad sastoji se od sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Računalstvo u oblaku
3. Tehnologije mrežne virtualizacije
4. Koncept i modeli računalstva u oblaku
5. Pregled i funkcionalnost NaaS modela računalstva u oblaku
6. Primjena i razvoj modela NaaS
7. Zaključak

Uvodno poglavlje daje osnovnu sliku o radu te definira cilj, svrhu i strukturu rada. U drugom poglavlju, radi boljeg razlaganja problematike, predstavljen je koncept računalstva u oblaku, opisane su njegove karakteristike, arhitektura i infrastruktura. U trećem poglavlju opisane su tehnologije mrežne virtualizacije. Svaka tehnologija obrazložena je zasebno, odnosno virtualizacija programa, virtualizacija memorije i virtualizacija računalnog sustava koja se još grana na pet potpoglavlja. Osnovni modeli softver kao usluga, platforma kao usluga i infrastruktura kao usluga prikazani su u četvrtom poglavlju. U petom poglavlju opisuje se funkcionalnost NaaS modela računalstva u oblaku, dok se u zadnjem govori o primjeni i razvoju NaaS modela na primjerima virtualne privatne mreže, virtualnog privatnog

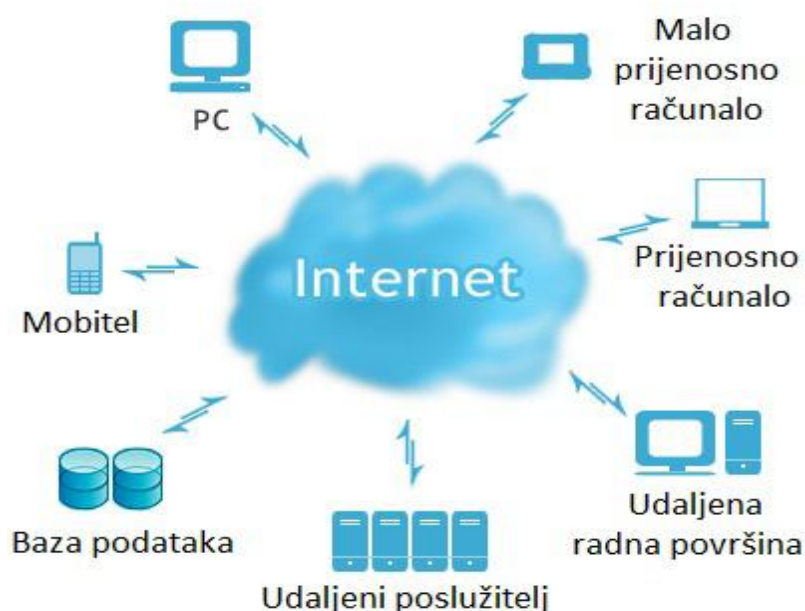
oblaka, propusnosti na zahtjev i mobilnog virtualnog mrežnog operatora. Na temelju prezentiranih činjenica iz prethodnih poglavlja, donesen je zaključak u kojem su ukratko prikazani glavni rezultati rada.

## 2. Računalstvo u oblaku

*Cloud* (hrv. oblak) se vrlo često koristi kao drugi izraz za Internet. On potječe od načina na koji se Internet označava u raznim dijagramima, ali i od same infrastrukture Interneta. Kada se on koristi zajedno sa izrazom *computing* novi termin više nema isto značenje, [12].

Postoji mnogo različitih definicija *cloud computinga* (hrv. računalstvo u oblaku). Dio analitičara definira *cloud computing* kao virtualne poslužitelje dostupne preko Interneta. Dok drugi smatraju da je sve što se nalazi iza *firewalla* (hrv. vatrozida) gledano sa stajališta korisnika lokalne mreže u „oblaku“, [12].

Najbolja definicija *cloud computinga* kaže da je on koncept podjele programskog okruženja koji koristi internet kao platformu (slika 1.). *Cloud computing* nam omogućuje da aplikacije i dokumenti poslani iz bilo kojeg dijela svijeta budu pohranjeni i čuvaju se na za to predviđenim poslužiteljima. Pristup podacima u „oblaku“ se odvija putem *web* preglednika ili specijaliziranih aplikacija, [12].



Slika 1. Cloud Computing( hrv. računalstvo u oblaku)[12]



Organizacije koje pružaju usluge i pogodnosti *cloud computinga* korisnicima omogućuju pristupanje aplikacijama i virtualnim poslužiteljima preko *web* preglednika. Korištenjem *cloud computing* tehnologije korisnici više nemaju potrebu za poznavanjem ili ispitivanjem tehnološke strukture „oblaka“, [12].

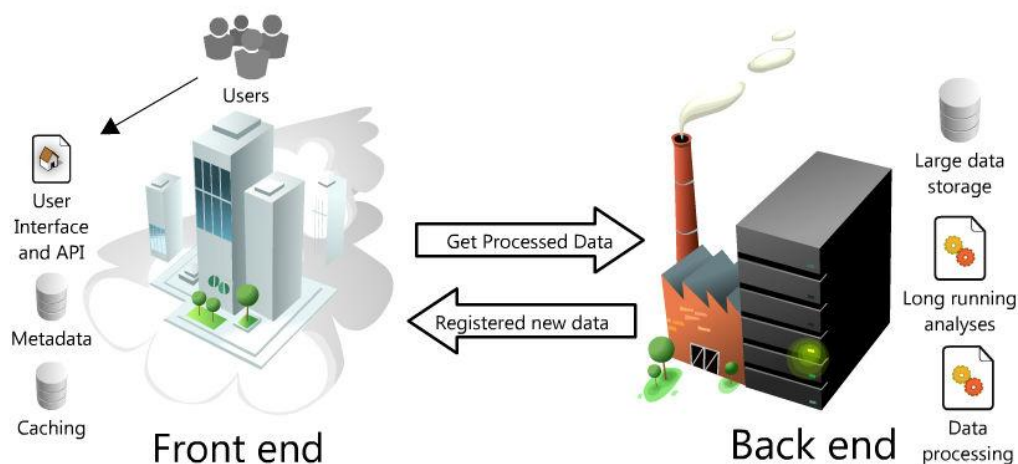
IT (**IT** - *Information Technology*) uvijek teži k povećanju kapaciteta odnosno novih mogućnosti bez investiranja u nove infrastrukture, obuku novog osoblja ili kupovinu novih licenciranih programa, stoga je *cloud computing* idealno rješenje koje također obuhvaća svaku uslugu koja se naplaćuje preko Interneta i povećava postojeće IT kapacitete, [12].

*Cloud computing* je još uvijek u neprekidnom razvoju. Na njegovom razvoju radi mnogo različitih davatelja usluga koji svoju ponudu zasnivaju na računalstvu u oblaku (razne aplikacije, usluge skladištenja i filtriranja nepoželjnih sadržaja), [12].

„Oblak“ odvaja aplikacijske i informacijske resurse od infrastrukture koja leži u pozadini. Oblak odvaja i mehanizme kojima se ti resursi dostavljaju. Između ostalog „oblak“ povećava suradnju, pokretljivost, skaliranje i dostupnost računalnih sustava te donosi nove mogućnosti konstrukcije uz pomoć optimalnog i učinkovitog upravljanja. *Cloud computing* objašnjava način uporabe više poslužitelja, aplikacija, informacija i infrastrukture koja se sastoji od mnogo računalnih, mrežnih, informacijskih resursa te resursa za pohranu podataka i programa kako bi se smanjili financijski gubici korisnika i omogućilo brže i jeftinije rješavanje problema. Ove komponente mogu biti brzo obrađene, interpretirane, primijenjene i skalirane pružajući tako model raspodjele i uporabe koji funkcionira na zahtjev korisnika, [12].

## 2.1. Arhitektura računalstva u oblaku

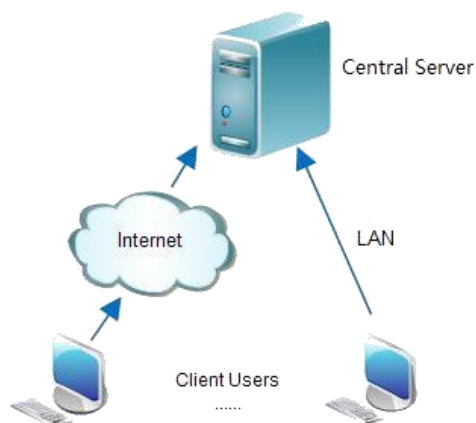
Arhitekturu računalstva u oblaku moguće je podijeliti na dva dijela: *front end* i *back end* koji su međusobno spojeni putem mreže, najčešće Internetom. *Front end* je strana korisnika računala, odnosno klijenta, a *back end* je *cloud* sekcija sustava.



Slika 2. Povezanost front enda i back enda [6]

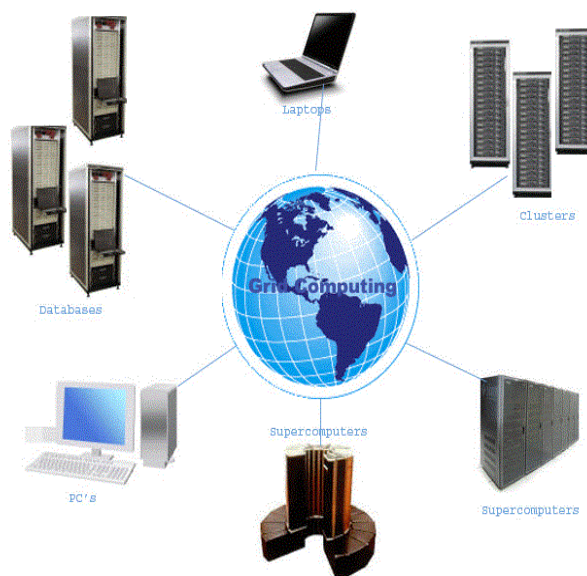
*Front end* uključuje klijentsko računalo (ili računalnu mrežu) i aplikacije neophodne za pristup *cloud computing* sustavu (slika 2.). Sučelja *cloud computing* sustava se razlikuju. Servisi kao *web*-bazirani *e-mail* programi koriste postojeće internetske pretraživače kao što su *Internet Explorer*, *Firefox* ili neki drugi, dok drugi sustavi imaju jedinstvene aplikacije koje osiguravaju mrežni pristup korisniku, [2].

Većinu vremena serveri ne rade u punom kapacitetu, što znači da postoji neiskorištena procesorska snaga. Moguće je prevariti fizički server da se ponaša kao da je u pitanju više servera, od kojih svaki izvršava vlastiti operativni sustav. Ta tehnika se naziva virtualizacija servera koja, povećavajući rezultat individualnih servera, smanjuje potrebu za više fizičkih računala. Na *back endu* se nalaze razna računala, serveri i sustavi za pohranu podataka koji kreiraju cloud računalni servis (slika 2.). U teoriji, *cloud computing* sustav može sadržavati bilo koji računalni program, od obrade podataka do video igara. Često, svaka aplikacija ima vlastiti namjenski server, [2].



*Slika 3. Centralni server [10]*

Centralni server upravlja sustavom, nadgleda promet i korisničke zahtjeve kako bi osigurao da sve uspješno funkcionira (slika 3.). Iz toga proizlazi niz pravila nazvanih protokolima. On koristi specijalnu vrstu *softwarea* nazvanog *middleware* koji omogućuje mrežnim računalima međusobnu komunikaciju. Ako *cloud computing* kompanija ima velik broj korisnika, vjerojatno će biti suočena s iznad prosječnom potrebom za velikim prostorom za pohranu podataka. Neke kompanije zahtijevaju stotine uređaja za pohranu podataka. *Cloud computing* sustavi zahtijevaju dva puta veći broj uređaja za pohranu podataka kako bi mogli čuvati korisničke informacije zato što se ti uređaji kao i računala često kvare. *Cloud computing* sustav mora raditi kopiju svih korisničkih informacija i čuvati je na drugim uređajima. Te kopije omogućuju centralnom serveru pristup rezervnim računalima za dobivanje podataka koji drukčije ne bi bili dostupni. Kreiranje kopije podataka u vidu rezervne kopije se naziva redundancija, [2].



*Slika 4. Grid computing [9]*

*Cloud computing* je testno vezan za *grid computing* i *utility computing*. U *grid computing* sustavu ne samo da su mrežna računala u mogućnosti pristupiti resursima svakog računala u mreži već ih u potpunosti mogu koristiti (slika 4.).

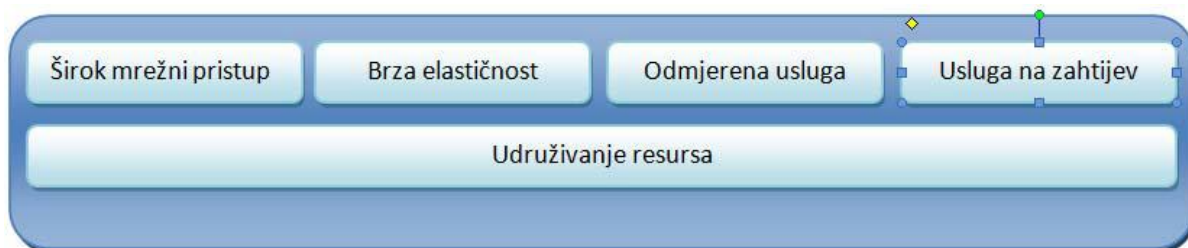


*Slika 5. Utility computing [4]*

U *cloud computing* sustavu to se jedino događa u *back endu*. *Utility computing* je poslovni model u kojem jedna kompanija plaća drugoj kompaniji pristup računalnim aplikacijama ili pohrani podataka (slika 5.), [2].

## 2.2. Karakteristike računalstva u oblaku

Državni institut za standarde i tehnologiju Sjedinjenih Američkih Država, NIST (NIST - *National Institute of Standards and Technology*) bavi se i *cloud computingom*. Točnije, NIST se bavi valjanim definiranjem *cloud computinga* i podjelom na karakteristične modele.



Slika 6. Karakteristike računalstva u oblaku [12]

Pet ključnih karakteristika koje pokazuju odnos i razlike računalstva u oblaku prema tradicionalnim pristupima u računalstvu su: usluga na zahtjev, široki mrežni pristup, brza elastičnost, udruživanje resursa i odmjerena usluga (slika 6.).

### 2.2.1. Usluga na zahtjev

Pružanje usluge na zahtjev korisnika (engl. *On-demand self-service*) znači da korisnik može samostalno odabrati i pokrenuti računalne resurse. Može birati vrijeme posluživanja i mrežni prostor za pohranu podataka bez potrebe za interakcijom s djelatnicima pojedinog davatelja usluge. U principu, danas većina poslužitelja svoje usluge temelji upravo na pristupu po kojem korisnici plaćaju usluge ovisno o vremenu i obujmu u kojem ih koriste, [17].

Ovaj model *cloud computinga* pomaže u podržavanju izvedbenih i kapacitivnih aspekata objekata koji ovise o razini usluge. *Self-service* priroda *cloud computinga* organizacijama omogućuje stvaranje elastične okoline koja se povećava i smanjuje ovisno o radnim uvjetima i ciljanim performansama. „Plati koliko koristiš“ priroda *cloud computinga* znači da je korisnicima omogućen najam opreme čija cijena ovisi o iznajmljenoj količini, trajanju najma i vrsti iznajmljenih usluga, [17].

Virtualizacija je ključ ovoga modela. Organizacije koje koriste informacijske tehnologije shvaćaju da im virtualizacija omogućava brzo i jednostavno stvaranje kopija

postojećih okolina, u što je ponekad uključeno više virtualnih strojeva kako bi se podržala ispitivanja, razvoj i pohrana aktivnosti. Trošak ovih okolina je jako malen jer one mogu postojati na istom poslužitelju kao proizvodna okolina. Isto tako, nove aplikacije se mogu razvijati i rasprostirati u novim virtualnim strojevima na postojećim fizičkim poslužiteljima, otvorenima za uporabu preko Interneta. Aplikacije mogu biti skalirane, ako su uspješne na tržištu. Mogućnost korištenja i plaćanja samo onih resursa koji su korišteni prebacuje rizik, koliko infrastrukture zauzeti od organizacije koja razvija aplikaciju na davatelja usluga *cloud computinga*. Također pomiče i odgovornost za arhitekturne odluke s arhitekata aplikacije na razvojne inženjere. Ovi pomaci odgovornosti mogu povećati rizike, [17].

### **2.2.2. Širok mrežni pristup**

Širok mrežni pristup (engl. *Broad network access*) čini mogućnosti dostupnima putem mreže. Njima se pristupa korištenjem standardnih mehanizama koji promoviraju heterogenu uporabu „tankih“ i/ili „bogatijih“ klijentskih platformi (na primjer, mobilni uređaji, laptopi te PDA uređaji<sup>1</sup>) kao i tradicionalnih programskih usluga temeljenih na „oblaku“. Ovo je vrlo blisko Microsoftovoj P+U/program+usluga (eng. S+S / software+service) strategiji (ideja je da se bilo koji uređaj može spojiti na sustav od bilo kuda), [17].

### **2.2.3. Brza elastičnost**

Brza elastičnost (engl. *Rapid elasticity*) znači da mogućnosti koje korisnicima nudi *cloud computing* mogu biti ubrzano i elastično pokrenute, u nekim slučajevima i automatski, kako bi se po potrebi ostvarilo proporcionalno povećanje ili smanjenje mogućnosti kada one više nisu potrebne. Krajnjem korisniku mogućnosti koje koristi mogu izgledati kao da nemaju ograničenja i mogu se kupiti u bilo kojoj količini u bilo koje vrijeme (na primjer Amazon EC2<sup>2</sup>), [17].

---

<sup>1</sup> **PDA uređaj** - PDA je skraćenica od **Personal Digital Assistant**, što u prijevodu znači „osobni digitalni pomoćnik“ i predstavlja malo prijenosno računalo, <http://www.krstarica.com/zivot/tehnika/rad-na-kompiuteru/sta-predstavljaju-pda-uredjaji/> (28.8.2015)

<sup>2</sup> **Amazon EC2** - predstavlja pravo virtualno računalno okruženje, omogućavajući korištenje sučelja web-usluge za pokretanje instanca s različitim operacijskim sustavima, [http://www.fer.unizg.hr/download/repository/Zavrsni\\_rad\\_-\\_Tina\\_Zoric.pdf](http://www.fer.unizg.hr/download/repository/Zavrsni_rad_-_Tina_Zoric.pdf) (28.8.2015)

#### **2.2.4. Udruživanje resursa**

Udruživanje resursa (engl. *Resource pooling*) podrazumijeva da se računalni resursi pružatelja usluga spajaju se kako bi poslužili sve korisnike koristeći model više zakupljenih jedinica (engl. *Multi-Tenant model*), s različitim fizičkim i virtualnim resursima, koji se dinamički dodjeljuju i uklanjaju prema zahtjevima korisnika. Korisnik po običaju nema nadzor i znanje o točnom mjestu uporabljenih resursa, ali ipak ga može odrediti na većoj razini apstrakcije (na primjer na razini države). Primjeri resursa uključuju mrežni prostor, procesore, memoriju, mrežnu propusnost te virtualne strojeve, [17].

#### **2.2.5. Odmjerena usluga**

Odmjerena usluga (engl. *Measured service*) omogućava da sustavi koji koriste *cloud computing* automatski provjeravaju i optimiraju uporabu resursa. Uporaba resursa se optimira utjecajem na mjerenje sposobnosti apstrakcije prikladne potrebnom tipu usluge (na primjer pohrana podataka, širina pojasa, aktivni korisnički računi). Ona se može pratiti, provjeravati i o njoj se mogu raditi izvješća pružajući tako transparentan uvid davateljima usluge i korisnicima. Važno je primijetiti da se *cloud computing* poslužitelji često (ali ne uvijek) koriste zajedno s virtualizacijskim tehnologijama. Međutim, ne postoje zahtjevi koji usko povezuju apstrakciju sredstava i virtualizacijske tehnologije pa se u mnogim ponudama virtualizacija operacijskih sustava ipak ne koristi, [17].

## 2.3. Infrastruktura platforme računalstva u oblaku

Neovisno o tri osnovna arhitekturna modela, postoji još i podjela s aspekta infrastrukture, ti modeli su izvedeni na četiri različita načina, ovisno o specifičnim potrebama korisnika.

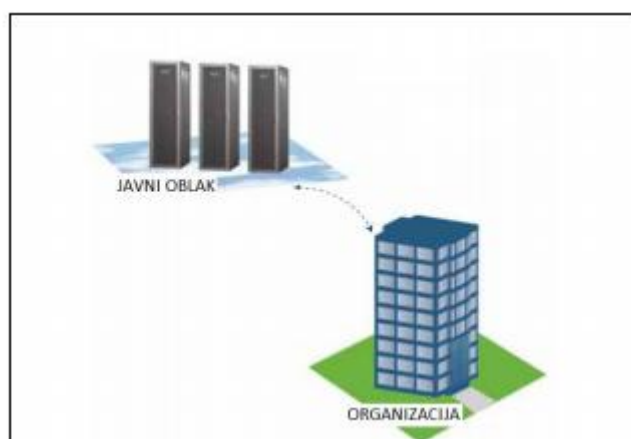
Gledajući s aspekta infrastrukture, oblaci se mogu podijeliti na:

- Javne oblake,
- Privatne oblake,
- Zajedničke oblake i
- Hibridne oblake.

U sljedećim poglavljima bit će opisana podjela oblaka s aspekta infrastrukture te njihova primjena.

### 2.3.1. Javni oblak

Javni oblaci su dostupni široj javnosti zahvaljujući davatelju usluga (slika 7.). Općenito govoreći, pružatelji javnih oblaka kao što su *Amazon AWS*<sup>3</sup>, *Microsoft*, i *Google* posjeduju i rade s infrastrukturom te nude pristup Internetu. Upotrebljavajući ovaj model, korisnici nemaju pregled ili pristup lokaciji infrastrukture, [2].



Slika 7. Javni oblak [12]

<sup>3</sup> **Amazon AWS** - AWS se odnosi na *cloud* servise koje nudi Amazon i koji pokrivaju čitav spektar servisa, <http://www.varduna.rs/sh/blog/8-technology/42-klaud-racunarstvo.html> (28.8.2015)



Javni oblaci se koriste:

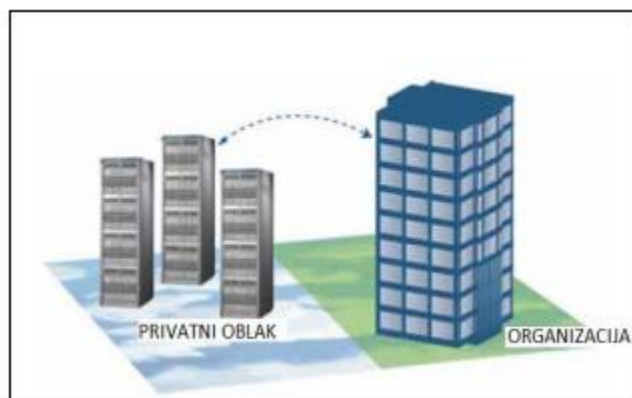
- Kada je potrebno razvijanje i testiranje koda za aplikacije;
- Kada radno opterećenje aplikacija koristi više korisnika npr. *e-mail*;
- Kada je potreban rastući kapacitet (mogućnost dodavanja izračuna sredstava za vršna vremena);
- Kada se radi suradnja na projektima (dvije tvrtke rade na zajedničkom projektu).

Iako javni oblak nudi čist model bez infrastrukture namijenjen krajnjim korisnicima za korištenje IT usluga te intrigira istraživačku zajednicu, migracija većine današnjih IT usluga (npr. razne poslovne aplikacije u okruženju nekog poduzeća tipa aplikacije za osiguravajuće kuće, zdravstvena administracija i sl.) na javni oblak ipak nije moguća. Zbog brige za sigurnost podataka, korporativno upravljanje te za uspješnost performansi i pouzdanost zabranjen je prijenos tih IT aplikacija iz kontroliranih domena dokle god se poboljšava infrastruktura javnog oblaka i njegovo javno prihvatanje, [2].

Korisnici javnih oblaka imaju ekonomsku korist zato što su troškovi infrastrukture podijeljeni između svih korisnika oblaka omogućavajući rad uz male troškove. Još jedna prednost infrastrukture javnih oblaka je ta da su obično većih razmjera od oblaka za „kućna“ poduzeća. Ovi oblaci nude najveću učinkovitost pri dijeljenju resursa međutim oni su ujedno ranjiviji od privatnih oblaka, [2].

### **2.3.2. Privatni oblak**

Privatni oblak je infrastruktura namijenjena određenoj organizaciji (slika 8.). Njime može upravljati sama organizacija ili netko drugi. Kada je organizacijama potrebna bolja kontrola i nadzor nad podacima od onog kojeg bi imali u javnom oblaku, koriste privatni oblak. Njihova namjena vezana je isključivo za jednog klijenta, pružajući mu najveći nadzor nad podacima i najveću sigurnost imovine pohranjene na oblaku. Infrastruktura je u posjedu organizacije koja također ima nadzor nad raspodjelom aplikacija na vlastitoj infrastrukturi. Privatni oblaci mogu biti raspoređeni i unutar organizacijskog podatkovnog centra, [2].

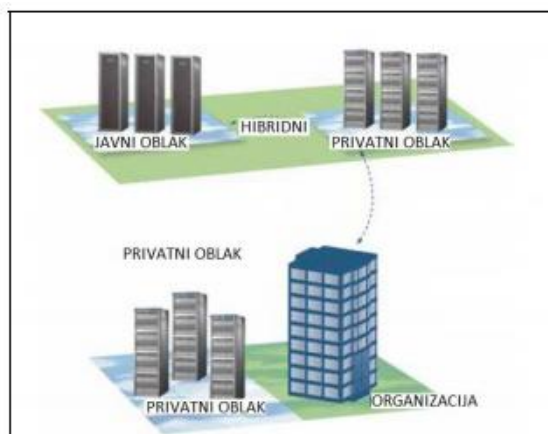


*Slika 8. Privatni oblak [12]*

Izgradnju i upravljanje privatnim oblacima obavljanju IT službe kompanija ili davatelji usluga. Organizacije koje posjeduju privatni oblak na njemu mogu instalirati programe, aplikacije, pohranjivati podatke i upravljati strukturom „oblaka“. Oni, između ostalog, pružaju kompanijama visoku razinu nadzora nad korištenjem resursa „oblaka“ jer njihovim korištenjem organizacije imaju potrebne vještine i mogućnosti za uspostavljanje i upravljanje okolinom, [2].

### **2.3.3. Hibridni oblak**

Hibridni oblak je kompozicija sastavljena od dva ili više oblaka (privatni, zajednički ili javni) koji ostaju jedinstveni entiteti, iako su međusobno povezani standardiziranim ili prikladnim tehnologijama koje omogućavaju efikasan prijenos podataka ili aplikacija (slika 9.).



*Slika 9. Hibridni oblak [12]*

Situacije u kojima je hibridni oblak koristan:

- Kada tvrtka želi koristiti *SaaS* aplikacije ali je brine sigurnost;
- Kada tvrtke nude usluge prilagođene za različita tržišta. Može se koristiti javni oblak za interakciju s klijentima, dok se istovremeno mogu čuvati podaci zaštićeni u privatnom oblaku;
- Može se osigurati javni oblak za klijente dok koristite privatni oblak za informacijske sustave unutar tvrtke.

Iz arhitektonskog aspekta, hibridni oblak može se smatrati privatnim oblakom koji proširuje vlastite granice kako bi dobio dodatne resurse na siguran i „na zahtjev“ način. Odnosno, dio aplikacija, pratećih servisa i podataka smješta se u oblak, dok se ostatak IT-sustava i dalje nalazi na vlastitoj infrastrukturi tvrtke, [2].

Za hibridne oblake karakteristična je složenost određivanja načina raspodjele aplikacija po javnom i privatnom oblaku. Osim ovog problema u obzir se mora uzeti i odnos između podataka i obrade resursa. Ako su podaci mali ili aplikacije ne pamte stanja, stvaranje hibridnog oblaka može biti bolje rješenje od prepisivanja velike količine podataka u javni oblak (u kojem se izvodi jednostavna obrada), [2].

#### **2.3.4. Zajednički oblak**

Zajednički oblak dijeli nekoliko organizacija. Infrastruktura podržava posebne zajednice koje imaju zajedničke potrebe, misije, zahtjeve sigurnosti i slično. Njima mogu upravljati same organizacije ili neko drugi (*provider* usluga). Varijabilnost opterećenja sudionika (slučajna, dnevna i sezonska) smanjit će se zajedničkim udruživanjem pa će troškovi serverske infrastrukture biti manji. U odnosu na javni oblak troškove dijeli tek nekoliko klijenta pa su mogućnosti uštede ograničene. Zajednički oblak je oblik javnog oblaka koji je ipak pod dobrim nadzorom, [2].

### 3. Tehnologije mrežne virtualizacije

Virtualizacija se može primijeniti na više načina, koje možemo podijeliti u tri glavne grupe; virtualizacija računalnog sustava, virtualizacija memorija i virtualizacija programa. Danas se najčešće primjenjuje potpuna virtualizacija računalnih sustava. U nastavku su opisane metode primjene virtualizacije.

#### 3.1. Virtualizacija programa

Programi se također mogu virtualno izvoditi na operativnim sustavima. Pritom se pokreću na jednom sustavu, a koriste datoteke i sredstva udaljenog računala. Instalacija programa primjerice može uključivati instalaciju klijenta za neki mrežni protokol (npr. HTTP<sup>4</sup>) pomoću kojeg se distribuirano pristupa dijelovima programa i usluga. Time se olakšava izvođenje programa na operacijskim sustavima za koje nisu izravno oblikovani, izbjegava se virtualizacija cijelog operativnog sustava na klijentskom računalu, a štiti se i računalo od moguće loše napisanog programskog koda, [11].



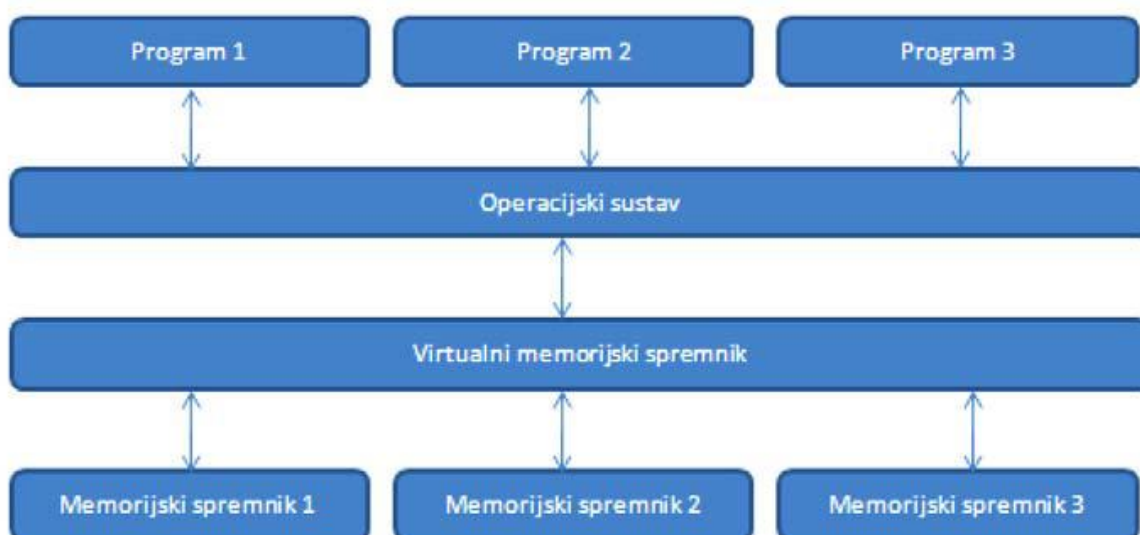
*Slika 10. Shema virtualizacije programa [11]*

Virtualizacija programa, općenito govoreći, preusmjerava zahtjeve programa za pristup datotekama u druge posebno oblikovane datoteke preko kojih se dobivaju potrebni podaci. Tako se primjerice omogućuje istovremeno izvođenje programa koji se inače ne mogu istovremeno izvoditi zbog međusobnog ispreplitanja sredstava koja koriste (slika 10.), [11].

<sup>4</sup> **HTTP** - mrežni protokol čija je osnovna namjena omogućivanje pregleda web stranica, <http://mreze7bd.wikispaces.com/Mre%C5%BEi+protokoli> (29.8.2015)

### 3.2. Virtualizacija memorije

Virtualizacija memorije je postupak kojim se u grozdovima računala<sup>5</sup> (engl. *cluster*) stvara jedinstveni bazen RAM (**RAM** – *Random Access Memory*) memorije kojem mogu pristupati sva računala. Tako distribuirani i umreženi poslužitelji imaju dostupne veće RAM kapacitete što omogućuje povećanje učinkovitosti i lakše dijeljenje podataka. Ova vrsta virtualizacije ostvaruje se tako da se fizički adresni prostori preslikaju u virtualne adresne prostore preko kojih se pristupa stvarnim memorijskim adresama u različitim spremnicima. Unatoč svim navedenim prednostima ove tehnologije, ona ipak može negativno utjecati na brzinu izvođenja zbog korištenja udaljene memorije, [11].



*Slika 11. Shema virtualizacije memorije [11]*

Memorijski spremnici opskrbljuju memorijom virtualni memorijski spremnik. Operacijski sustav povezuje se s virtualnim memorijskim spremnikom i programima omogućava pristup tom spremniku, dok se programi koriste memorijom pomoću operacijskog sustava (slika 11.).

<sup>5</sup> Računalni grozdovi (eng. *cluster*) - predstavljaju model uvezivanja više samostalnih PC računala za potrebe paralelnog računanja, [http://www.fer.unizg.hr/download/repository/grozd\\_text.pdf](http://www.fer.unizg.hr/download/repository/grozd_text.pdf) (29.8.2015)

Uz virtualizaciju memorije valja spomenuti i virtualizaciju memorijskih spremnika (engl. *storage*). Riječ je o procesu kojim se pomoću apstrakcije razdvajaju logički i fizički pristup memoriji. Metoda se zasniva na preslikavanju adresnih prostora i prevođenju zahtjeva za virtualnim logičkim adresama u odgovarajuće fizičke zahtjeve. Server pritom koristi logički adresni prostor, a sve promjene u fizičkom adresnom prostoru maskiraju se mijenjanjem postavki prevoditelja zahtjeva ili tzv. „meta-data“ maskiranjem. To znači da će u slučaju premještanja podataka, zahtjev za stalnom logičkom lokacijom tih podataka u prevoditelju jednostavno preusmjeriti na novu fizičku lokaciju. Time se očito postiže jednostavnije upravljanje podacima i bolja iskorištenost memorije. Negativnosti mogu biti vezane uz sporije izvođenje zbog prividno bliskih logičkih adresa koje su u stvarnosti udaljene, složenosti izvedbe prevoditelja zahtjeva ili neusklađenosti različitih programskih izvedbi, [11].

### 3.3. Virtualizacija računalnog sustava

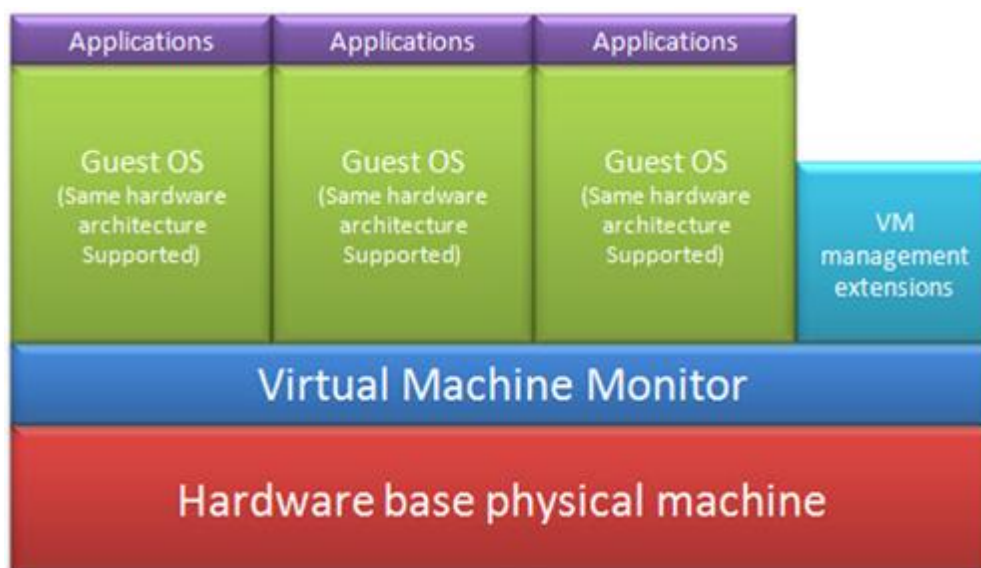
Virtualizacija računalnog sustava omogućuje simuliranje računalnog okruženja čime se sakrivaju svojstva izvorne platforme. Pritom se virtualna računala izvode kao da su izravno povezana na sklopovlje, no u stvarnosti njihov je pristup računalnim sredstvima ograničen virtualnom okolinom.

#### 3.3.1. Potpuna virtualizacija

Potpuna virtualizacija oponaša dovoljno sklopovske potpore da se operacijski sustav nepromijenjen može izvoditi na virtualnom računalu. Sklopovsko okruženje pritom uključuje procesor, radnu memoriju te dodatne memorijske i periferne uređaje (USB, grafičke, zvučne kartice i slično). Potpuna virtualizacija uključuje ispunjavanje sljedeća tri zahtjeva:

- ekvivalencija – programi pokrenuti na virtualnom sustavu ponašaju se potpuno jednako kao što bi se ponašali na odgovarajućem realnom sustavu;
- upravljanje sredstvima – virtualizacijska podrška potpuno upravlja virtualnim sredstvima;
- učinkovitost – većina strojnih instrukcija može se izvoditi izvan virtualne okoline.

Kako bi se zadovoljili uvjeti potpune virtualizacije skup strojnih naredbi procesora (**ISA** – *Instruction Set Architecture*) mora zadovoljavati određena svojstva. Naime, osjetljive naredbe koje virtualni stroj mora presresti su one koje mijenjaju konfiguraciju računalnih sredstava ili čije ponašanje i rezultat ovisi o konfiguraciji računalnih sredstava. Takve naredbe moraju se izvoditi tako da ih virtualni stroj može presresti i prilagoditi. U tu svrhu može se koristiti i binarno prevođenje naredbi kojim se kritične naredbe zamjenjuju skupom sigurnih naredaba. Potpuna virtualizacija nije moguća na svim sustavima, uključujući starija izdanja *AMD-V* i *Intel-VT* sklopovlja, [11].



*Slika 12. Potpuna virtualizacija [11]*

Gornja slika prikazuje shemu potpune virtualizacije. Na njoj se vidi kako se VMM (VMM - *Virtual Machine Monitor*) sustav, koji presreće, obrađuje i prosljeđuje naredbe pojedinačnih operacijskih sustava sklopovlja, nalazi izravno iznad sklopovlja. Uz programsku potporu za komunikaciju korisnika s VMM sustavom iznad VMM sloja izvode se i nepromijenjeni operacijski sustavi te programi u njima (slika 12.).

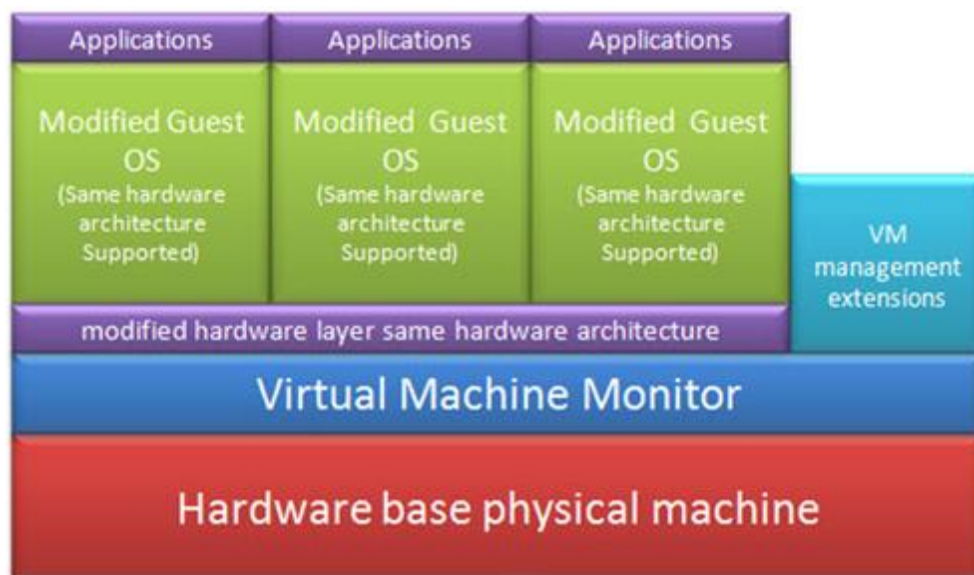
### **3.3.2. Djelomična virtualizacija**

Djelomična virtualizacija za razliku od potpune virtualizacije ne uključuje simulaciju cijelog sklopovlja, već samo određenog dijela. To najčešće znači da se na virtualnom stroju ne može pokretati cijeli operacijski sustav, ali može se pokretati velik broj programa. Primjer djelomične virtualizacije je odvajanje adresnih prostora, odnosno dodjeljivanje zasebnog virtualnog adresnog prostora svakom virtualnom stroju. Ovaj tip virtualizacije koristan je kod dijeljenja memorijskih sredstava među različitim korisnicima. Općeniti značaj ove metode više je povijesni nego praktični, a odnosi se na približavanje ostvarenju potpune virtualizacije, [11].

Uz djelomičnu virtualizaciju postoji i tzv. „paravirtualizacija“. Riječ je o metodi koja omogućuje simuliranje operacijskih sustava, ali za razliku od potpune virtualizacije ne simulira se izravan rad sa sklopovljem već se komunikacija obavlja preko posebnog API-ja



(**API** - *Application Programming Interface*) koji se naziva *hypervisor*<sup>6</sup>. Zbog toga se sustavi ne mogu instalirati na virtualnom stroju u izvornom obliku već ih je potrebno prilagoditi ih za komunikaciju s nadzornim (engl. *hypervisor*) sučeljem, [11].



Slika 13. Paravirtualizacija [11]

Usporedba paravirtualizacije i potpune virtualizacije vidljiva je i na slici paravirtualizacije koja uključuje dodatan sloj između VMM sloja i operacijskih sustava (engl. *hypervisor*) preko kojeg se obavlja prilagođena komunikacija (slika 13.).

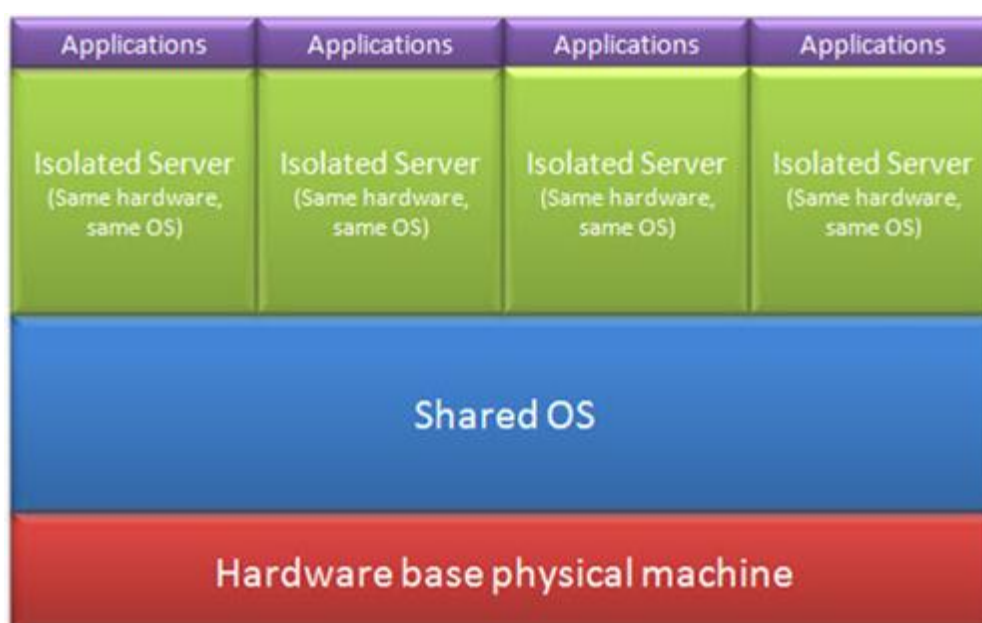
### 3.3.3. Sklopovski potpomognuta virtualizacija

Ova vrsta virtualizacija odnosi se zapravo na potpunu virtualizaciju koja koristi posebno prilagođene procesore fizičkog poslužitelja. Riječ je o prilagodbama koje omogućuju uočavanje osjetljivih instrukcija te njihovu zamjenu i oponašanje skupom odgovarajućih sigurnih instrukcija u sklopovlju. Naspram programskog ostvarenja, sklopovska virtualizacija strojnih instrukcija znači veću učinkovitost. Primjeri ovih tehnologija za x86 arhitekturu procesora su *Intel VT* i *AMD-V*, *VT-i*. Virtualne okoline koji koriste sklopovsku potporu su *VMware Workstation*, *Xen 3.x*, *Linux KVM* i *Microsoft Hyper-V*. Problem kod ove vrste virtualizacije je zahtjev za posebnim sklopovljem koje povećava učinkovitost rada u virtualnim okolinama, ali smanjuje učinkovitost kod drugih primjena, [11].

<sup>6</sup> **Hypervisor** - Hypervisor je sloj ili spona između fizičkih resursa host računala i virtualnih guest računala, <http://www.it-modul.rs/01/2013/pojam-virtualizacije-i-osnovni-termini/> (29.8.2015)

### 3.3.4. Virtualizacija na razini OS-a

Kod ove vrste virtualizacije jezgra ili operacijski sustav omogućuju odvajanje korisničkih prostora koji iz perspektive korisnika izgledaju kao potpuni poslužitelji. Pritom su često uključeni alati za upravljanje računalnim sredstvima (memorijom, diskom i sl.). Problem kod ove vrste virtualizacije je taj što se ne mogu koristiti virtualni poslužitelji s drugačijim operacijskim sustavima od onih stvarnog poslužitelja. Prednosti su pak što nema narušavanja učinkovitosti rada virtualnih strojeva jer se izravno koristi stvarni operacijski sustav, bez sklopovskog ili programskog prevođenja virtualnih u stvarne naredbe, [11].



*Slika 14. OS Level virtualizacija [11]*

Na gornjoj slici vidljivo je kako u ovom slučaju nema VMM sloja, već se virtualni sustavi pokreću iznad operacijskog sustava domaćina. Pritom su svi sustavi isti kao i sustav domaćin jedino su podijeljeni u odvojene poslužitelje (slika 14.).

### 3.3.5. Usporedba svih tehnika virtualizacije

U sljedećoj tablici dana je sažeta usporedba svih tehnika virtualizacije računala.

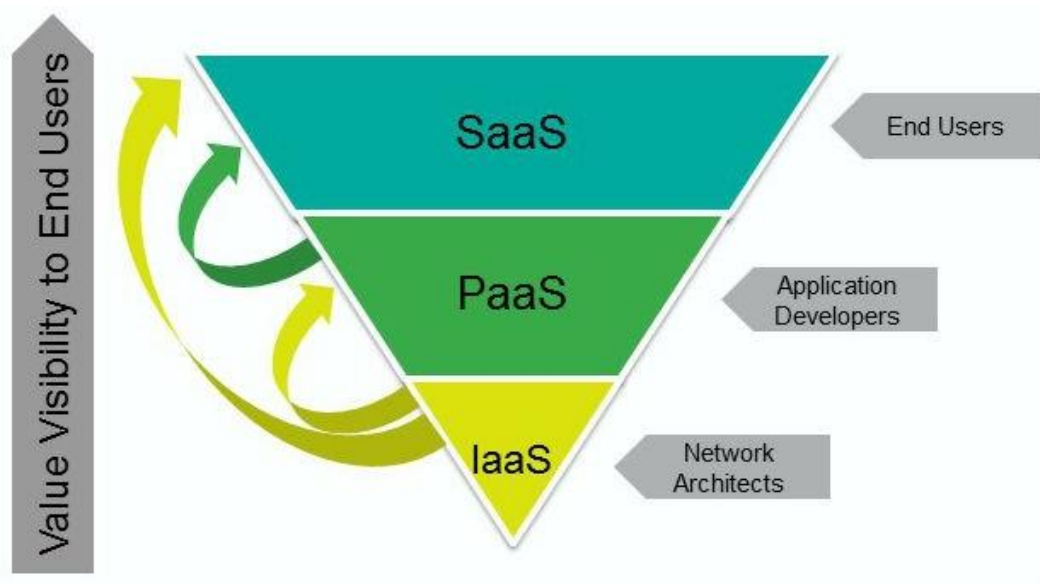
	<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
<b>Potpuna virtualizacija</b>	Omogućuje instalaciju izvornog operacijskog sustava na virtualno računalo	Nije moguća na svim sustavima
<b>Djelomična virtualizacija</b>	Omogućuje dijeljenje memorijskih sredstava među korisnicima	Samo dio programa može se virtualno pokretati
<b>Paravirtualizacija</b>	Omogućuje instalaciju operacijskih sustava na virtualno računalo	Zahtijeva izmjene u OS-ovima koji se instaliraju
<b>Virtualizacija na razini OS-a</b>	Učinkovito korištenje sredstava operacijskog sustava domaćina	Svi OS-ovi moraju biti iste vrste
<b>Sklopovski potpomognuta virtualizacija</b>	Brži i učinkovitiji rad za virtualne sustave	Moguća smanjena učinkovitost kod drugih primjena

*Tablica 1. Usporedba metoda virtualizacije [11]*

Svaka od prethodno nabrojanih tehnika virtualizacije ima svoje prednosti i mane (tablica 1.). Premda potpuna virtualizacija pruža mogućnost instaliranja izvornog operacijskog sustava na virtualno računalo koji se potom nepromijenjen izvodi, njena je primjena istovremeno ograničena jer je nije moguće provoditi na svim računalima. Budući da se za razliku od potpune, kod djelomične virtualizacije provodi necjelovita simulacija sklopovlja, nije moguće pokretati cijeli operacijski sustav, već samo dio programa. Taj nedostatak ublažava činjenica da od ovog tipa virtualizacije velike koristi imaju korisnici koji mogu nesmetano dijeliti memorijska sredstva. Metoda paravirtualizacije je specifična zato što omogućava instalaciju operacijskih sustava na virtualno računalo, iako istovremeno zahtijeva izmjene unutar spomenutih sustava. Najveća prednost sklopovski potpomognute virtualizacije je veća brzina i veća učinkovitost u virtualnim okolinama. Međutim ta učinkovitost nerijetko pada prilikom drugih načina upotrebe. Posljednja tehnika virtualizacije, ona na razini OS-a, zadržava visoku razinu učinkovitosti jer se izravno koristi stvarni operacijski sustav. Teškoća, pak, leži u tome da virtualni poslužitelji moraju imati iste OS-ove kao stvarni poslužitelj.

## 4. Koncept i modeli računalstva u oblaku

*Cloud computing* možemo podijeliti na tri osnovna arhitekturna modela. Tri osnovne klasifikacije često se nazivaju SPI model, pri čemu SPI označava program, platformu ili infrastrukturu (engl. *Software, Platform, Infrastructure*).

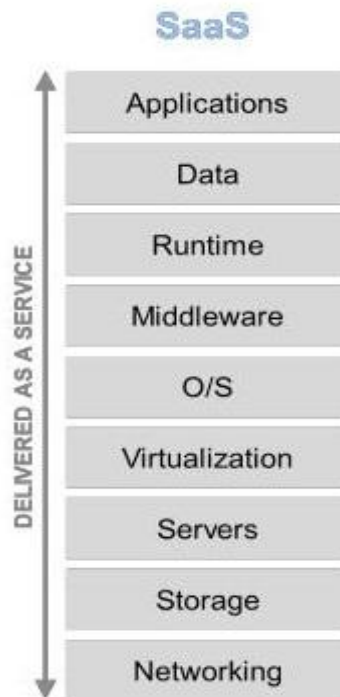


Slika 15. Razine usluge dostupne putem računalstva u oblaku [18]

Arhitektura za cloud computing okruženje može se podijeliti u tri sloja,: sloj infrastrukture, sloj platforme i sloj softvera (slika 15.). Sloj infrastrukture se često naziva i sloj virtualizacije, a u njemu se nalaze računalski resursi, kao i sistemi za memoriranje informacija. Infrastrukturni sloj je osnovna komponenta za *cloud computing*. Sloj platforme se sastoji od operativnih sistema i *frameworka* za aplikacije, dok se sloj softvera koji se nalazi na vrhu arhitektonske hijerarhije *cloud computinga* sastoji od aktualnih *cloud* aplikacija. Može se reći kako je *cloud* arhitektura modularne prirode. Svaki sloj je spregnut sa slojem iznad i ispod, a pri tome treba osigurati da svaki sloj radi nezavisno jedan od drugog. Način konfiguracije je sličan OSI (**OSI** - *Open Systems Interconnection*) modelu za mrežne protokole, [3].

## 4.1. Softver kao usluga (SaaS)

SaaS (**SaaS** - *Cloud Software as a Service*) korisniku omogućava korištenje dostupnih aplikacija koje se nalaze u infrastrukturi oblaka. Aplikacije su dostupne s različitih klijentskih uređaja uz pomoć klijentskog sučelja (na primjer *web* preglednika).



Slika 16. Softver kao usluga [5]

Korisnik ne provjerava pozadinsku infrastrukturu, uključujući mrežu, servise, operacijske sustave, pohranu podataka ili čak individualne aplikacijske mogućnosti zato što svime upravlja pružatelj usluge (slika 16.). Jedina moguća iznimka su specifične korisničke konfiguracijske postavke. Odnosno, *SaaS* je tehnološka platforma koja omogućuje dostupnost aplikacija putem Interneta u obliku usluga koje se unajmljuju prema potrebi, umjesto da se kupuju kao zasebni program koji treba instalirati na kućnim (odnosno uredskim) računalima. Ubrzan je trend prijelaza na taj poslovni model, koji tvrtkama omogućuje najam tekstualnih, tabličnih, kalendarskih ili drugih programa prema potrebi, čime se izbjegava trošak kupovine, instalacije, nadgradnje i održavanja programa na uredskim računalima, [12].

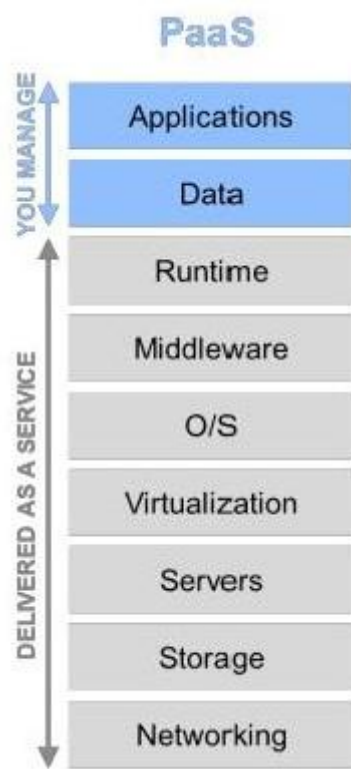
Ovaj model *cloud computinga* dostavlja jednu aplikaciju preko korisničkog preglednika tisućama korisnika koji koriste arhitekturu predviđenu za mnoštvo zakupa. S korisničke strane to znači da nema dodatnog ulaganja u poslužitelje ili programske licence, a davateljima usluga troškovi su mali u odnosu na tradicionalnu uslugu držanja datoteka na poslužitelju. Primjeri SaaS-a su *Google Apps* i *Zoho Office*, [12].

Prednosti *SaaS* modela su sljedeći:

- *SaaS* omogućava brži pristup novim tehnologijama;
- Veći je naglasak je na poslovnom modelu, nego na tehnologiji;
- Brži su i razvoj i otklanjanje grešaka;
- Poboljšana sigurnost, performanse i dostupnost aplikacijama;
- Pristup podacima bilo kada i s bilo koje lokacije;
- Mogućnost proširenja i prilagođavanje promjeni poslovnih procesa;
- Niži inicijalni troškovi;
- Lakše predviđanje troškova, [3].

## 4.2. Platforma kao usluga (PaaS)

PaaS (**PaaS** - *Cloud Platform as a Service*) je varijacija *SaaS* strukture koja kao uslugu donosi razvojnu okolinu. Korisnik sam gradi vlastite aplikacije koje se pokreću na infrastrukturi davatelja usluge (slika 17.). Aplikacije se korisnicima dostavljaju preko sučelja poslužitelja dohvatljivog putem Interneta. Navedeni poslužitelji su u vlasništvu davatelja usluga. Ove usluge su ograničene dizajnom i mogućnostima isporučitelja tako da korisnik nema potpunu slobodu. Naime, korisnik ne može provjeravati strukturu oblaka niti mrežu, sustave pohrane, operacijske sustave i poslužitelje, ali ipak ima nadzor nad razvijenim aplikacijama (slika 17.). Ponekad ima čak i mogućnost nadzora okolinske konfiguracije, [12].



Slika 17. Platforma kao usluga [5]

*PaaS* rješenja se uobičajeno isporučuju kao integrirani sistem pružajući istovremeno razvojnu platformu i infrastrukturu na kojoj će se aplikacije izvršavati. *PaaS* predstavlja platformu koja omogućava kreaciju *web* aplikacija brzo i jednostavno, pri tome izbjegavajući kupovinu i održavanje softvera i neophodne infrastrukture, [3].

Za razliku od *SaaS* modela, *PaaS* je rješenje za kreaciju aplikacija koje se isporučuju preko *weba*. Karakteristike *PaaS* modela omogućuju razvoj, testiranje, primjenu, i održavanje aplikacija u istom integriranom razvojnom okruženju. Korisničko sučelje preko *weba* pomaže pri kreiranju, modifikaciji, testiranju i primjeni različitih scenarija, [3].

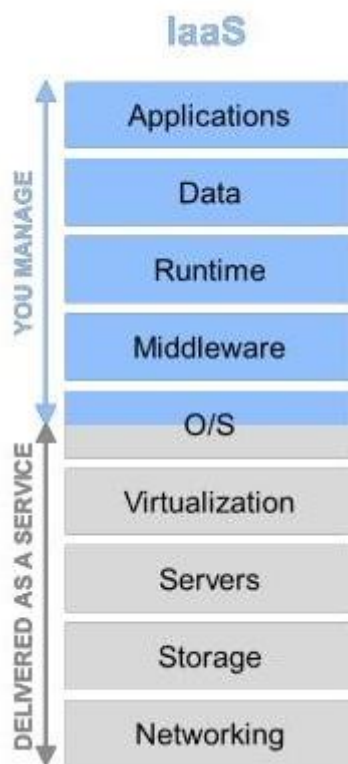
Arhitektura platforme omogućava da više korisnika istovremeno koristi odgovarajuće aplikacije. Osim toga, integracija s *web*-servisima i bazama podataka može se ostvariti preko odgovarajućeg standarda. *PaaS* omogućuje alate za upravljanje pretplatom i modelima tarifiranja, [3].

Primjeri za *PaaS* modele su *Google App Engine*, *Microsoft Azure Services*, kao i *Force.com* platforma. *Google App Engine* predstavlja platformu za razvoj skalabilnih *web* aplikacija koje se izvršavaju na vrhu infrastrukture servera kompanije *Google*. Pri tome se osigurava prednost korištenja dodatnih *Googleovih* usluga kao što su *Mail* i *Datastore*, [3].



### 4.3. Infrastruktura kao usluga (IaaS)

IaaS (**IaaS** - *Cloud Infrastructure as a Service*) pruža korisniku kao uslugu mogućnost korištenja računalne infrastrukture (uglavnom virtualne platforme). Korisnici ne kupuju poslužitelje, programe, prostore za pohranu podataka ili mrežnu opremu, već kupuju navedene resurse kao vanjsku uslugu. Pružena im je mogućnost upravljanja obradom, pohranom, umrežavanjem i drugim osnovnim računalnim resursima. Korisnik može pokrenuti različite vrste programske podrške, od operacijskog sustava do aplikacija (slika 18.). Premda nema nadzor nad infrastrukturom „oblaka“, ima zato nadzor nad operacijskim sustavima, pohranom podataka i razvojem aplikacija. On može imati i ograničeni nadzor nad odabranim komponentama umrežavanja (slika 18.), [12].



Slika 18. Infrastruktura kao usluga [5]

Većina poslužitelja koji pružaju usluge u oblaku imaju mogućnost ponuditi cijela računala na raspolaganje - kao fizička i češće kao virtualna. *IaaS* poslužitelji isporučuju resurse na zahtjev, dohvaćajući ih iz velikih bazena (engl. *pool*) ugrađenih u podatkovne centre, [15].

Infrastruktura kao usluga *IaaS* se može podijeliti na CaaS (**CaaS** - *Communication as a Service*) i DaaS (**DaaS** - *Data as a Service*).

*CaaS* predstavlja kompletno rješenje komunikacija u kompaniji. Isporučitelji ove usluge su odgovorni za upravljanje infrastrukturom neophodnom za isporuku. U servis obično spadaju *VoIP*<sup>7</sup>, *Instant Messaging*<sup>8</sup>, video konferencija, a neki *provideri* ovdje ubrajaju i servis kolaboracije, koji se uglavnom odvojeno pruža. Ovaj tip usluge predstavlja evolutivni pomak u pružanju usluga telekomunikacijskih operatera. Zbog prirode servisa uključenih u ovu ponudu, pružatelji usluga bi trebali ponuditi i osigurati QoS<sup>9</sup> (**QoS** – *Quality of Service*), za određenu cijenu, [14].

DaaS je pružanje informacija i model distribucije u kojem su podatkovne datoteke (tekst, slika, zvuk, video) dostupne korisnicima preko mreže, najčešće Interneta, [8].

*Amazon* je jedna od glavnih kompanija koja koristi *IaaS* rješenja, preko oblaka *Elastic Compute Cloud* (EC2), [3].

---

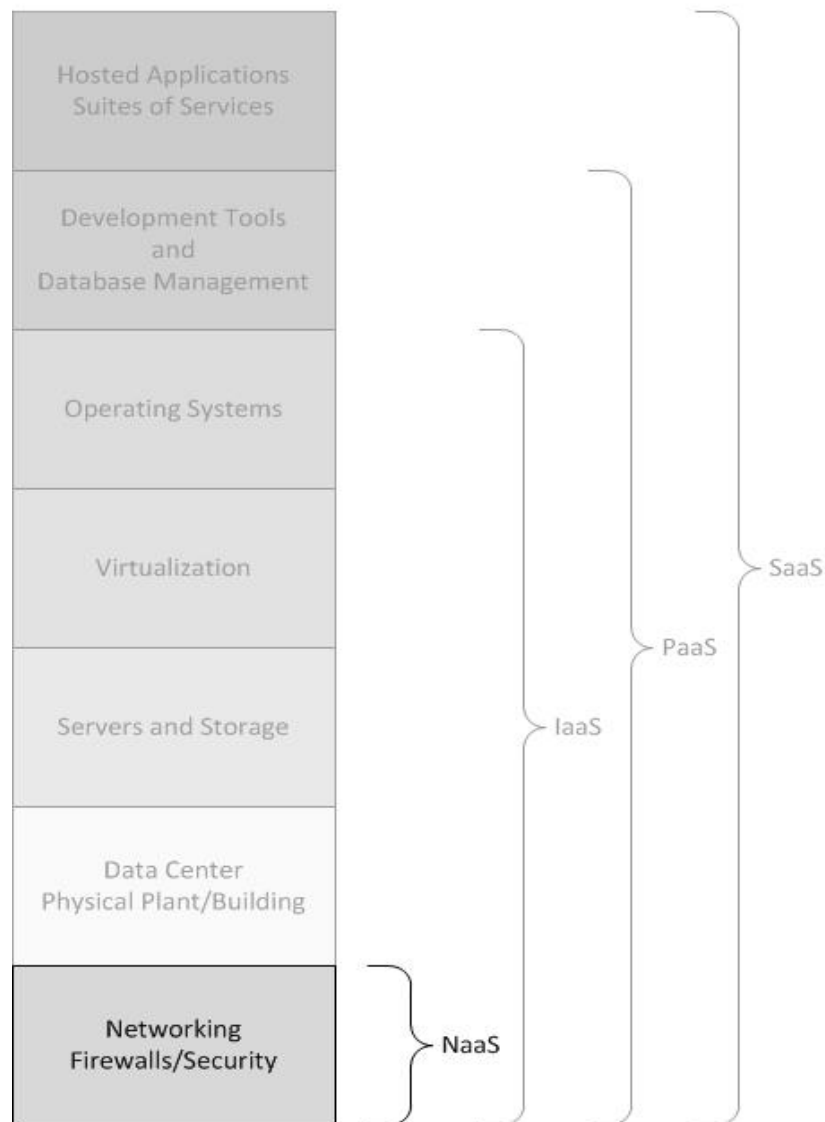
<sup>7</sup> **VoIP** - označava tehnologiju kojom se mogu voditi telefonski razgovori preko interneta, [http://www.rivoip.com/html/voip\\_informacije.html](http://www.rivoip.com/html/voip_informacije.html) (29.8.2015)

<sup>8</sup> **Instant Messaging** - oblik komunikacije u realnom vremenu, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Slanje\\_trenuta%C4%8Dnih\\_poruka](https://hr.wikipedia.org/wiki/Slanje_trenuta%C4%8Dnih_poruka) (29.8.2015)

<sup>9</sup> **QoS** - kvaliteta usluge, <http://www.cisco.com/c/en/us/products/ios-nx-os-software/quality-of-service-qos/index.html> (29.8.2015)

## 5. Pregled i funkcionalnost NaaS modela računalstva u oblaku

Cilj NaaS modela je premostiti veliki broj poteškoća koje su prisutne u računalnom oblaku kako bi se korisnicima omogućilo učinkovitije korištenje mrežne infrastrukture u podatkovnom centru (**DC** – *Data Center*).



*Slika 19. Network as a Service [22]*

NaaS je uz IaaS, PaaS i SaaS jedan od pružatelja usluga u *cloudu*. Usluge koje on pruža vezane su isključivo za internetsku domenu, točnije za umreživanje, vatrozid i sigurnost (slika 19.). Pri tome koristi *pay-per-use* („plati koliko koristiš“) ili pretplatnički model. U nastavku bit će riječi o funkcionalnosti koju bi NaaS trebao osigurati.

## 5.1. Funkcionalnosti NaaS modela

Tradicionalni model kojeg nude pružatelji *cloud* usluga strogo odvaja računalstvo na krajnjim uređajima (engl. *end host*) od mrežnog usmjeravanja s jednog kraja virtualnog spoja na drugi (engl. *end-to-end*). Međutim ovo odvajanje škodi performansama u podatkovnoj ravnini (engl. *data plane*) i smanjuje fleksibilnost u upravljačkoj ravnini mreže (engl. *control plane*). Kako bi se povećala radna učinkovitost potrebno je upravljati programima unutar mreže. Na taj bi se način očuvala širina frekventnog pojasa (engl. *bandwidth*), izbjeglo bi se gomilanje podataka na korisničkom računalu i smanjio mrežni promet te bi se povećala efikasnost. Osim toga trenutni *cloud* model otežano pruža specifične programske usluge koje zahtijevaju fleksibilnost u upravljačkoj ravnini. Zbog toga su korisnici prisiljeni zaobići ograničenja te na taj način doprinose razvoju alternativnih mogućnosti (tablica 2.), [22].

<b>Aplikacije</b>	<b>Trenutni pristup</b>	<b>Memorija</b>	<b><i>Per-packet state</i></b>	<b>Paketne operacije</b>
<i>Broadcast/multicast</i>	Overlay	KBs	No	Duplicate
<i>Content-based network</i>	Overlay	MBs	No	Duplicate
<i>Content-centric network</i>	Overlay	MBs	No	Duplicate
<i>Complex event processing</i>	Overlay	GBs	Yes	Modify
<i>Stream processing</i>	Overlay	GBs	Yes	Modify
<i>Data aggregation</i>	Overlay	MBs	Yes	Modify
<i>Deduplication</i>	End-to-end	GBs	Yes	Modify
<i>Distributed caching</i>	End-to-end	GBs	Yes	Modify
<i>Information flow control</i>	Middle box	KBs	No	Forward
<i>Stateful firewalls/IDS</i>	Middle box	MBs	Yes	Forward
<i>Packet scheduling</i>	Network	KBs	Yes	Forward

<i>Multipath</i>	Network	KBs	No	Forward
<i>Load-aware anycast</i>	Various	KBs	Yes	Forward

**Tablica 2.** Klasifikacija aplikacija podatkovnog centra [1]

U drugom stupcu navedena su trenutna rješenja kojima se koriste ove aplikacije kako bi nadvladale mrežna opterećenja, dok se u preostalim stupcima analiziraju preduvjeti koje zadovoljavaju, a tiču se kapaciteta memorije unutar mreže (engl. *in-network memory footprint*), strukturne međuovisnosti paketne obrade (engl. *packet processing order dependencies*) i potrebne funkcionalnosti, [1].

Aplikacije se razlikuju prema količini memorije koja im je potrebna. Dok neke aplikacije (*stream processing*) zahtijevaju velik memorijski kapacitet (MB ili GB) jer dugo čuvaju programske podatke, ostale aplikacije (*firewalls*) trebaju manje memorije jer pohranjuju privremene rezultate ili pravilnike (MB). Najmanje memorije treba, primjerice, *multipath routing* jer pohranjuje relativno male tabele za usmjeravanje (engl. *routing tables*). Kako bi podržala najzahtjevnije aplikacije, NaaS usluga mora imati odgovarajuće memorijske resurse i sposobnost upravljanja njihovom distribucijom, [1].

NaaS model trebao bi iskoristiti mogućnost hardverskog paralelizma kada obrađuje pakete unutar mreže. Programi koji koriste paketne operacije bez pamćenja stanja (engl. *stateless packet operations*) kao što je *multipath routing* lako se paralelizira putem obrade podataka na više jezgri (engl. *processing packets on multiple cores*). S druge strane, programi koji ažuriraju stanje na svakom paketu zahtjevniji su za održavanje, [1].

Aplikacije postavljaju različite zahtjeve na mrežu koji se tiču podržanih paketnih operacija kao što je prikazano u zadnjem stupcu tablice. Jedna grupa aplikacija želi kontrolu nad prosljeđivanjem paketa (engl. *packet forwarding*) i eventualno mogućnost odlučivanja koji izlazni paketi imaju prioritet, dok druga grupa poput *multicast* mora udvostručiti pakete. Zadnja skupina, odnosno opći programi moraju imati sposobnost proizvoljne obrade podataka modificirajući ih ili stvarajući nove pakete. Arhitektura NaaS modela mora podržavati različite funkcije unutar mreže, [1].

Radi bolje preglednosti, bit će odvojeno predstavljene tri funkcije NaaS platforme koje se u praksi koriste zajedno.

Prva funkcija je **vidljivost mreže** (engl. *network visibility*). Velik broj programa (Tablica 2.) *broadcast/multicast*, umrežavanje temeljeno na sadržaju (engl. *content-based networking*), umreživanje usmjereno na sadržaj (engl. *content-centric networking*), obrada složenih događaja (engl. *complex event processing*), obrada tokova (engl. *stream processing*), skupljanje podataka (engl. *data aggregation*), izgrađeno je preko prekrivajuće mreže (engl. *overlay network*). Da bi se postigla visoka učinkovitost potreban je značajan napor kako bi se optimiziralo uparivanje (engl. *mapping*) između logičke i fizičke topologije. Budući da postojeće podatkovne centre karakterizira visok stupanj dodjeljivanja prevelikih kapaciteta prometa u odnosu na brzinu (engl. *oversubscription*), uzimanje u obzir položaja racka (engl. *rack locality*) u prekrivajućoj mreži može imati značajan utjecaj na radni učinak, [1]

Predloženo je nekoliko rješenja za instanciranje (engl. *inferring*) mrežne lokacije. Primjerice, Orchestra<sup>10</sup> koristi sofisticiran protokol za grupiranje (klasteriranje) koji služi za otkrivanje topologije podatkovnog centra te iskorištava ove informacije kako bi učinkovito postavila svoj nadsloj koji se temelji na strukturi stabla (engl. *tree-based overlay*). Dok su *black-box* pristupi potrebni u otvorenom prostoru kao što je Internet, pružatelj usluga podatkovnog centra u potpunosti je upoznat s topologijom i stoga ove informacije može učiniti dostupnima korisnicima bez ikakvih dodatnih troškova. Ovo bi njima omogućilo učinkovito alociranje<sup>11</sup> *overlay* čvorova (čvorova prekrivajuće mreže) na virtualne strojeve (engl. *virtual machines*), bez potrebe za skupim i često nepreciznim ispitivanjima, [1].

---

<sup>10</sup> **Orchestra** - kolaborativni sustav za dijeljenje podataka, <http://www.talukdar.net/papers/sigrec.pdf> (30.8.2015)

<sup>11</sup> **Alociranje** - informacijski postupak dodjeljivanja memorijskog prostora računala naredbama ili podacima, [http://hjp.novi-liber.hr/index.php?show=search\\_by\\_id&id=f1jXA%253D%253D](http://hjp.novi-liber.hr/index.php?show=search_by_id&id=f1jXA%253D%253D) (30.8.2015)

Druga funkcija je **prilagođeno prosljeđivanje** (engl. *custom forwarding*). Premda bi vidljivost mreže doprinijela značajnom poboljšanju performansi programa na prekrivajućoj mreži, postoje, međutim bitne prepreke koje koče radnu učinkovitost na prekrivajućim mrežama. Budući da poslužitelji (serveri) obično imaju samo jednu mrežnu karticu (**NIC** – *Network Interface Card*), čak i jednostavno stablo višeodredišnog usmjeravanja (engl. *multicast tree*) s faktorom grananja izlaza<sup>12</sup> (engl. *fan-out*) većim od jedan ne može se optimalno preslikati na fizičku mrežu, [1].

Prema tome, NaaS model bi korisnicima trebao pružiti mogućnost kontrole prosljeđivanja paketa na prospojnicima (engl. *switches*). To bi omogućilo provedbu prilagođenih protokola za usmjeravanje. Svi programi u tablici 2. označeni kao *duplicate* ili *forward* imali bi velike koristi od ove usluge. Poput, primjerice, umrežavanje temeljeno na sadržaju (engl. *content-based networking*), umreživanje usmjereno na sadržaj (engl. *content-centric networking*), kao i jedinstven korisnički vatrozid (engl. *tenant-specific firewalls*), raspoređivanje paketa (engl. *packet scheduling*) te opterećenja svjesno adresiranje najbližeg odredišta (engl. *load-aware anycast*), [1].

**Obrada podataka unutar mreže** (engl. *in-network processing*) treća je funkcija NaaS platforme. Glavne prednosti NaaS modela sastoje se u pružanju mogućnosti obrade paketa unutar mreže kao dio nove tehnološke platforme, tzv. računalstva u oblaku. Primjerice, distribuirane računalne platforme, kao što su MapReduce<sup>13</sup> i Dryad<sup>14</sup> te sustavi prijenosa podataka u stvarnome vremenu (engl. *real-time streaming systems*) i tražilice upravljaju velikim količinama podataka koji se često sakupljaju u međufazama. Sakupljanjem podataka unutar mreže moguće je smanjiti ukupni mrežni promet, čime se značajno smanjuje vrijeme izvođenja. Valja imati na umu da su ove agregacijske funkcije vezane za određene aplikacije, te stoga nisu dio uobičajenih usluga mreže, [1].

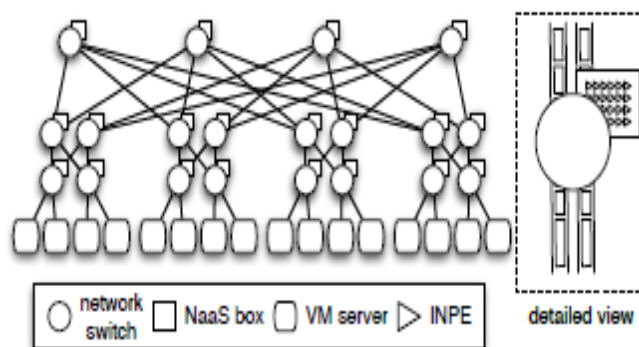
---

<sup>12</sup> **Faktor grananja izlaza** - broj krugova koji mogu biti priključeni na izlaz nekog logičkog sklopa (i koje taj sklop može dalje pokretati), <https://sr.scribd.com/doc/57275030/126/Faktor-grananja-na-izlazu-i-ulazu> (30.8.2015)

<sup>13</sup> **MapReduce** – model programiranja pogodan za pretragu velikih skupova podataka, <https://bigdatasvet.wordpress.com/tag/mapreduce/> (30.8.2015)

<sup>14</sup> **Dryad** - istražuje programske modele za pisanje paralelnih i distribuiranih programa na ljestvici od malih korisnika do podatkovnog centra, <http://research.microsoft.com/en-us/projects/dryad/> (30.8.2015)

Još jedan program koji bi imao koristi od ove funkcije je usluga raspodijele priručne memorije (engl. *distributed caching service*), slična onoj sustava Memcached<sup>15</sup>. Primjerice, utječući na sposobnost presretanja paketa na putu, omogućit će se provedba pravodobne *caching* strategije na temelju koliko puta je paket prošao određen prospojnik, [1].



Slika 20. Arhitektura NaaS modela [1]

Na slici 20. Prikazan je primjer NaaS arhitekture. U usporedbi s postojećim podatkovnim centrima u *cloudu*, NaaS zahtijeva od mrežnih uređaja da budu u stanju učinkovito izvršavati korisničke kodove. Kako bi se logično razlikovala funkcionalnost tradicionalne razmjene paketa (engl. *packet switching*) od naprednije NaaS funkcionalnosti, komponenta odgovorna za izvršavanje kodova kolokvijalno se naziva *NaaS box*. Ona se može implementirati kao samostalan uređaj povezan preko visokopojasnih veza s prospojnicima ili se može integrirati u isti hardverski prospojnik. NaaS kućišta (engl. *boxes*) sadrže *in-network* elemente obrade (**INPE** – *in network processing elements*) koji izvršavaju programsku obradu paketa koji prolaze kroz njih. Za određen program koji izvršava korisnik, svaki INPE koristi istu programsku logiku na podskupu svih NaaS kućišta, odnosno na onima koji se nalaze na usmjerivačkim putevima između korisničkih virtualnih memorija u fizičkoj mrežnoj topologiji, [1].

<sup>15</sup> **Memcached** - sustavi visokih preformansi koji služe za pohranjivanje objekata u raspodijeljenoj memoriji, <http://memcached.org/> (30.8.2015)



## 5.2. Prednosti i nedostaci NaaS modela

Cilj NaaS modela je pojednostaviti arhitekturu pomoću virtualizacije omogućavajući običnom hardveru pristup posve različitim softverskim rješenjima. Budućnost NaaS usluge ovisi o njenoj sposobnosti da korisnicima olakša upotrebu IT resursa. U nastavku su nabrojane pozitivne strane NaaS modela kojima se nastoji potaknuti korisnike da se odluče upravo za ovu uslugu.

Prednosti NaaS modela:

- upravljanje tokom zasnovano na centraliziranoj politici olakšava rad korisnicima;
- optimalna fleksibilnost prilikom kontrole kapaciteta;
- korištenje i/ili nabava mrežnih resursa na zahtjev (engl. *on demand*);
- optimalna aktivnost mreže i/ili korištenje širine frekventnog pojasa (engl. *bandwidth*) unutar minimalnog vremena ispada (engl. *downtime*);
- sposobnost uvođenja novih mrežnih mogućnosti i usluga bez potrebe za konfiguriranjem pojedinačnog uređaja;
- brza implementacija te činjenica da korisnici ne troše vrijeme na instaliranje i konfiguriranje mrežne opreme;
- imajući u vidu da davatelj usluge oblaka održava mrežu, upravljanje i održavanje je pojednostavljeno;
- olakšan pristup analizama i detaljnim izvješćima o usluzi te uvidu u njeno funkcioniranje;
- poboljšana učinkovitost mreže;
- poboljšana pristupačnost i mobilnost, odnosno omogućeno je spajanje na mrežu s bilo kojeg mobilnog uređaja koji pruža internetsku uslugu i s bilo kojeg mjesta, u bilo koje vrijeme;
- pružena mogućnost oporavka od ispada (engl. *disaster recovery*);
- skalabilnost se trenutačno povećava, odnosno od iznimne je koristi sposobnost brzog dodavanja kapaciteta;
- ušteda zahvaljujući smanjenom ili čak nepostojećem kapitalnom ulaganju te zahvaljujući činjenici da nema potrebe za kupnjom dodatnih hardverskih ili softverskih komponenti, [23].

Unatoč brojnim prednostima NaaS modela nad ostalim mrežnim rješenjima, kao i kod ostalih platformi koje se temelje na *cloudu*, uvijek su prisutne brige oko pitanja sigurnosti i pouzdanosti ponuđenih usluga. Stoga se u nastavku nastoji ukazati na potencijalne nedostatke usluge koje bi mogle usporiti širenje ovog modela te na moguća rješenja bez tih problema.

Nedostaci NaaS modela:

- dostupnost garancija, zabrinutost oko mogućeg prekida usluge ili njenog pogoršanja;

Tvrtke moraju imati na raspolaganju pristup informacijama o mogućnostima oporavka od nenormalnih stanja u mreži, primjerice o zalihosti i načinu zaštite podataka za maksimalnu dostupnost informacija.

- nužno je definirati okvir za ugovore o razini usluge<sup>16</sup> (**SLA** - *Service Level Agreement*);
- zabrinutost oko sigurnosti.

Pružatelji usluga moraju osigurati korisnicima sigurnost. Vrlo je važno da isključivo korisnik ima pristup podacima koje samo on smije mijenjati. Dobiven sigurnosni certifikat zasigurno može pomoći u ublažavanju zabrinutosti oko tog problema. Osim toga, korištenje tehnike autentikacije i metoda enkripcije može odagnati brigu zbog:

- nedostatka industrijskih standarda;
- isključivosti dobavljača<sup>17</sup> (engl. *vendor lock-in*);
- smanjene kontrole infrastrukture;
- gubitka podataka;
- integracije u već razvijenu sredinu, [23].

Tvrtke se moraju pridržavati pravila koje su u skladu sa zakonskim propisima. Pružatelji *cloud* usluga stoga moraju imati transparentne poslovne odnose sa tvrtkama i posebno pridavati pažnju metodama šifriranja, lokaciji podataka i izvješćivanju, [23].

---

<sup>16</sup> **SLA** - ugovor s pružateljem usluga gdje se definira razina usluge, kvaliteta podrške, razina dostupnosti servera i ostalo, <http://www.svgroup.hr/SV-Group/services/sla/> (30.8.2015)

<sup>17</sup> **Isključivost dobavljača** (eng. **vendor lock-in**) - tehnika pružanja usluge kojim se osigurava korisnikova ovisnost o uslugama određenog dobavljača, <https://www.techopedia.com/definition/26802/vendor-lock-in> (30.8.2015)

## 6. Primjena i razvoj modela NaaS

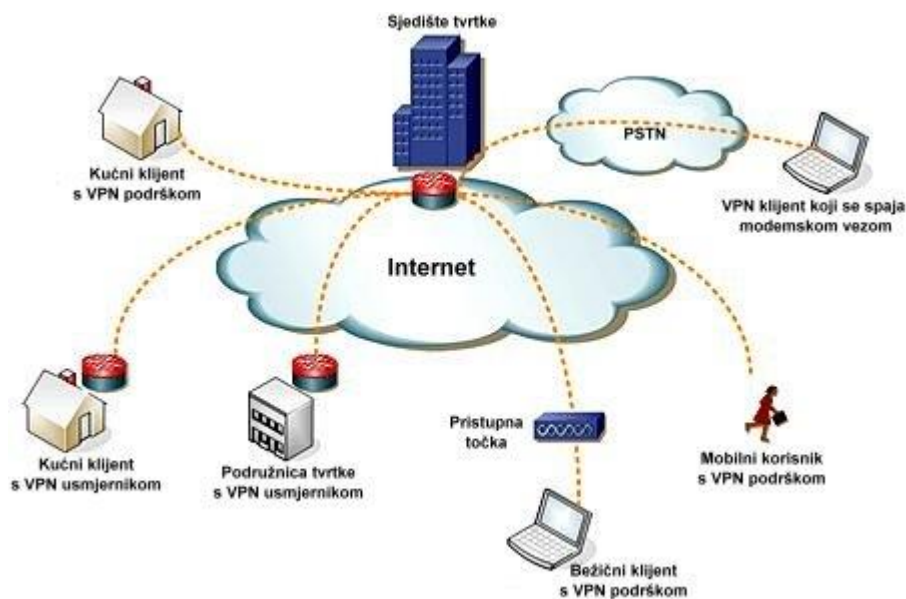
*Network as a service* predstavlja grupu cloud servisa kod kojih je korisniku dostupna mogućnost korištenja mrežnih servisa i servisa mrežnog povezivanja unutar clouda i između clouda i privatne LAN (**LAN** – *Local Area Network*) mreže. Njegov integralni dio je optimizacija alokacije resursa koja se postiže tako što se mreža i računalni resursi promatraju kao jedna cjelina, [16].

Osnovni servisi uključuju fleksibilnu i proširenu virtualnu privatnu mrežu - VPN (**VPN** – *Virtual Private Network*), kao i propusni opseg po zahtjevu. Ostali modeli usluga su VPC (**VPC** – *Virtual Private Cloud*), BoD (**BoD** - *Bandwidth on Demand*), MVNO (**MVNO** – *Mobile Virtual Network Operator*).

### 6.1. Virtualna privatna mreža – VPN

VPN je tehnologija koja omogućava sigurno povezivanje računala u virtualne privatne mreže preko dijeljene ili javne mrežne infrastrukture. Korištenjem VPN-a moguće je povezivanje geografski odvojenih korisnika, kupaca ili poslovnih partnera. VPN podrazumijeva korištenje istih sigurnosnih i upravljačkih pravila koja se primjenjuju unutar lokalnih mreža (slika 21.), [13].

Također, VPN veze mogu se uspostaviti preko različitih komunikacijskih kanala; preko interneta: preko komunikacijske infrastrukture davatelja Internet usluga, ATM mreža (**ATM** – *Asynchronous Transfer Mode*) itd. Za razliku od privatnih mreža koje koriste iznajmljene linije za slanje podataka, virtualna privatna mreža preko javne mreže stvara sigurni kanal između dviju krajnjih točaka, [13].



*Slika 21. Arhitektura VPN mreže [7]*

Osnovni koncept VPN tehnologije je implementacija sigurnog medija između privatnih mreža, a preko javne mreže. Taj medij može biti programski ili sklopovski orijentiran, a uobičajene su i kombinacije tih pristupa, [13].

Kada računalo šalje podatke prema drugom računalu na udaljenoj mreži, podaci koji u tom slučaju izlaze iz lokalne mreže moraju proći kroz gateway uređaj koji štiti tu mrežu, putovati kroz javnu mrežu, te na drugoj strani također proći kroz gateway uređaj koji štiti ciljno računalo na udaljenoj mreži. VPN štiti tako odaslane podatke automatskim šifriranjem prilikom slanja podataka između dviju udaljenih privatnih mreža i enkapsuliranjem u IP pakete (**IP** – *Internet Protocol*), te automatskim dešifriranjem paketa na drugom kraju komunikacijskog kanala, [13].

Sigurnost VPN-a temelji se na šifriranju. Cilj je ograničiti pristup podacima koji se prenose samo odgovarajućim korisnicima, odnosno računalima. VPN koristi kompletnu enkripciju paketa, od jednog kraja virtualnog spoja do drugog (engl. *End to end*). Ova tehnika spremanja šifriranih podataka u otvorena zaglavlja naziva se tuneliranje. Prilikom spajanja, VPN otvara sigurni tunel koji omogućava enkapsulaciju i šifriranje podatak, te autentikaciju korisnika, [13].

Osnovna prednost korištenja VPN-a jest značajna ušteda u odnosu na cijenu korištenja privatnih iznajmljenih linija ili međugradskih/internacionalnih telefonskih poziva. Postojanje Interneta kao globalne mreže, te mogućnost sigurnog slanja povjerljivih podataka omogućavaju korištenje VPN-a kao alternative WAN mrežama (**WAN** – *Wide Area Network*) i drugim načinima implementacije udaljenog pristupa, s obzirom na to da u većini slučajeva VPN predstavlja manji trošak, te smanjuje potrebe za administracijom u odnosu na tradicionalne privatne mreže. Komunikacijski putovi korištenjem VPN-a mogu se uspostavljati brzo, jeftino i sigurno bilo gdje na svijetu, [13].

Naravno iznajmljene linije, iako skuplje, osiguravaju siguran i pouzdan medij za prijenos podataka. Nasuprot tome prijenos podataka preko Interneta može rezultirati kašnjenjima ili iznenadnim prekidima u komunikaciji, [13]

Korištenje enkripcijskih mehanizama unosi nešto dodatnog prometa u sjednicu. No većina VPN uređaja, programskih ili sklopovskih, podržava enkripciju/dekripciju u stvarnom vremenu pri brzinama od 10 Mbps i većima. Prilikom korištenja sporijih tehnologija kao što su ISDN (**ISDN** – *Integrated Services Digital Network*) ili DSL (**DSL** – *Digital Subscriber Line*) veza, obrada VPN komunikacije je mnogo brža nego kašnjenja uzrokovana ograničenom brzinom prijenosa. Pokazuje se da gubljenje paketa i latencija na lošijim internetskim spojevima potencijalno više utječe na performanse nego nužnost šifriranja kod VPN-a, [13].

Primjena VPN rješenja ima smisla u slučajevima kada korporativno okruženje ima više odvojenih lokacija, a propusnost i kvaliteta usluge nisu od kritičnog značenja. U suprotnom slučaju, kada postoji manji broj odvojenih lokacija, a propusnost i kvaliteta usluge su ključne, korištenje iznajmljenih linija je prihvatljivije rješenje, [13].

VPN tehnologija mora zadovoljavati određene zahtjeve. Između ostalog, svako VPN rješenje mora osigurati rješenje mora osigurati sljedeće:

- Autentikaciju korisnika – VPN mora osigurati provjeru identiteta korisnika i ograničiti VPN pristup samo ovlaštenim korisnicima. Također, VPN mora osigurati praćenje i bilježenje događaja;

- Upravljanje adresama – VPN je zadužen za dodjeljivanje klijentskih adresa unutar privatnih mreža;
- Šifriranje – podaci koji se prenose preko javne mreže moraju biti šifrirani da bi njihov sadržaj bio nedostupan neovlaštenim korisnicima;
- Upravljanje ključevima – VPN mora sadržati mehanizme za generiranje i osvježavanje ključeva nužnih za šifriranje komunikacijskog kanala između klijenta i poslužitelja;
- Podršku za razne protokole – VPN mora podržavati uobičajene protokole koji se koriste na javnim mrežama, [13].

## 6.2. Virtualni privatni oblak – VPC

Kao alternativno rješenje koje pokušava otkloniti nedostatke javnih i privatnih oblaka u posljednje vrijeme javlja se (od 2009. godine) virtualni privatni oblak. U osnovi je to platforma koja se postavlja na vrh javnog oblaka. Glavna razlika se sastoji u tome što VPC koristi tehnologiju virtualnih privatnih mreža koja omogućava pružateljima servisa da projektiraju vlastitu topologiju i aspekte vezane za sigurnost informacija. VPC model ne virtualizira samo servere i aplikacije, već i komunikacijske mreže. S tim u vezi, VPC omogućuje kompanijama siguran prijelaz s vlasničke infrastrukture servisa na infrastrukturu u oblacima, preko sloja virtualne mreže, [3].

Virtualni privatni oblak možemo promatrati kao 1-N korisničkih mreža, povezanih virtualnim *routerom*. Virtualni *router* osigurava tzv. „Site to site“ VPN povezivanje (**S2S** - *Site to Site*). Ovakva konfiguracija predstavlja osnovu za pokretanje *multi-tier* korisničkih *web* aplikacija. Na jednoj virtualnoj mašini se može pokretati korisnički *web* sučelje, na drugoj aplikacija, a čak na trećoj virtualnoj mašini može biti smještena baza podataka, [19].

## 6.3. Propusnost na zahtjev – BoD

BoD je usluga za automatsko osiguravanje pojase širine za niz mreža, čime se NREN-ovima (**NREN** – *National Research and Education Network*) omogućuje brzo stvaranje namjenskih dinamičkih krugova velike brzine između različitih točaka mreže. Dosad su se projekti kod kojih je trebalo pouzdano prenijeti velike količine podataka između dviju krajnjih točaka u kratkom vremenu morali oslanjati na statičke međunarodne veze. Njihova je izgradnja trajala tjednima pa je i razumljivo da su bile dugoročne. BoD otklanja nedostatke

statičkih krugova smanjujući administraciju i instalaciju jer dopušta NREN-ovima da brzo i uz povoljan omjer troškova i rezultata osiguraju zajamčenu pojasnu širinu svojim korisnicima, i to točno kad je oni trebaju., [20].

Usluga BoD je od početka zamišljena kao fleksibilna i jednostavna za korištenje putem mrežnog sučelja te temeljena na standardima kako bi omogućila globalnu interoperabilnost. BoD nije vezan uz jedan alat, već podržava široki raspon rješenja za stvaranje krugova. Očekuje se da u budućnosti BoD usvoji protokol za sučelje mrežnih usluga (**NSI** - *Network Services Interface*) kojeg trenutačno razvija tijelo za standardizaciju *Open Grid Forum* kako bi stvorilo prvi globalni standard za interoperabilnu pojasnu širinu na zahtjev, [20].

## **6.4. Mobilni virtualni mrežni operator - MVNO**

Mobilni virtualni mrežni operatori (**MVNO** - *Mobile Virtual Network Operator*) su kompanije koje ne posjeduju vlastitu radio mrežu te nude mobilne telekomunikacijske usluge putem infrastrukture drugih mobilnih operatora. Ove tvrtke posjeduju opremu koja im je neophodna za pružanje usluga i njihovu naplatu, dok se radio oprema „iznajmljuje“, odnosno do korisnika se dolazi putem ugovora s jednim od postojećih operatora na tržištu koji raspolaže komunikacijskom infrastrukturom, [21].

Korisnici mobilnih usluga mobilnih virtualnih mrežnih operatora koriste usluge na isti način kao i kod drugih mobilnih operatora, što znači između ostaloga da im se na mobitelima prikazuje logo virtualnog operatora. Zbog toga što nemaju potrebu za gradnjom vlastite infrastrukture, glavne prednosti virtualnih operatora su niže cijene komunikacijskih usluga za krajnje korisnike i mogućnost bržeg pokretanja mreže. Posljedica ovakvoga načina rada je brža prilagodba mobilnog virtualnog mrežnog operatora potrebama tržišta. Kada je riječ o hrvatskom tržištu, za ulazak mobilnih virtualnih operatora nije potrebna koncesija, a time ni javni natječaj, već isključivo dozvola koju izdaje Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti (**HAKOM**), [21].

Mobilni virtualni mrežni operatori nude pokretne usluge korisnicima, što znači da ne posjeduju koncesiju frekvencijskog spektra, ne posjeduju vlastitu infrastrukturu i mrežnim operatorima koji posjeduju koncesiju plaća korištenje njihove pokretne mreže. MVNO otkupljuje impulse od operatora na veliko te ih preprodaje svojim korisnicima.

## 7. Zaključak

*Cloud computing* je tehnologija koja nije doživjela svoj vrhunac. Ona je u stalnom razvoju, svaki dan se koristi u privatne i poslovne svrhe. Prosječni korisnici sve više koriste usluge *cloud computinga*, posebno zbog ekonomskih razloga i praktičnosti koje *cloud* usluge pružaju, kao što je pohrana podataka za koju ne trebamo imati fizičke medije koji nepotrebno zauzimaju prostor.

*Network as a Service* nije novi koncept, ali njegovu implementaciju spriječili su isti problemi koji utječu i na druge *cloud computing* usluge. Posebno je problematično pitanje o sposobnosti davatelja usluga kako bi se osigurala visoka dostupnost (**HA** – *High availability*). Ostali problemi odnose se na ugovore o razini usluge (SLA) i na suverenitet podataka.

*Cloud computing* usluge će također zahtijevati nove modele cijena za NaaS ponude. S gledišta korisnika, za stvaranje informacijske tehnologije (IT) potrebno je samo jedno računalo, internetska veza i pristup davateljima NaaS usluga.

Velik potencijal ovog modela jasno se nazire u poslovnom okruženju gdje NaaS doživljava pravi procvat. Velike tvrtke sve više ulaze u NaaS domenu, a pojedine, primjerice tvrtka Anuta Networks, čak predviđa da će 2015. biti godina NaaS usluge. Takve tvrdnje nisu neobične s obzirom na to da ovaj koncept postaje privlačan novim poslodavcima jer ih spašava od trošenja novčanih sredstava na hardver i osoblje koje je potrebno za upravljanje mrežom. Ovo predviđanje se ostvaruje s obzirom na to da već mnogi europski i američki gradovi koriste NaaS model za upravljanje gradskom rasvjetom. Postaje, dakle, očito da je NaaS usluga budućnosti čije su mogućnosti neograničene. No neće samo velike tvrtke imati koristi od NaaS usluge. Pojedinci koji imaju specifične mrežne zahtjeve, primjerice „gameri“ kojima je nužna visoka propusnost i niska latencija ili osobe koje trebaju prijenos velikih datoteka, moći će dobiti personaliziranu uslugu. Davatelji usluga također mogu imati koristi jer će im NaaS omogućiti potrebnu pokretljivost kako bi velikom brzinom pružili inovativne usluge na zahtjev preko više dobavljača i tehnoloških mreža. Zapravo, može se reći kako mreža postaje naša svakodnevnica. Budući da je virtualna, na korisnicima je da postepeno otkrivaju sve njene složenosti i široki raspon mogućnosti.



## Literatura

- [1] Paolo, C., Migliavacca, M., Pietzuch, P., Wolf, A.: *NaaS: Network-as-a-Service in the Cloud*, Imperial College London, University of Kent, 2012.
- [2] Pejić, T.: *Informacijski sustavi temeljeni na cloud computing platformi*, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2013.
- [3] Samčović, A.: *Cloud computing okruženje u mrežama naredne generacije*, Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2012.
- [4] Internetska stranica: [http://admin.armadillonet.it/upload/tiny\\_mce/image2867.png](http://admin.armadillonet.it/upload/tiny_mce/image2867.png) (17.7.2015.)
- [5] Internetska stranica: [https://engineeringrevenue.files.wordpress.com/2012/02/cloud\\_difference\\_aas.jpg](https://engineeringrevenue.files.wordpress.com/2012/02/cloud_difference_aas.jpg) (24.7.2015.)
- [6] Internetska stranica: <https://mappinglife.files.wordpress.com/2011/04/mol-front-back.jpg%20> (17.7.2015.)
- [7] Internetska stranica: <http://mreze.layer-x.com/s060000-0.html> (6.8.2015.)
- [8] Internetska stranica: <http://searchcloudapplications.techtarget.com/definition/data-as-a-service> (2.8.2015.)
- [9] Internetska stranica: <http://www.adarshpatil.com/newsite/images/gridcomputing.gif> (15.7.2015.)
- [10] Internetska stranica: [http://www.backupcow.com/images1/Client\\_Server\\_Backup.png](http://www.backupcow.com/images1/Client_Server_Backup.png) (15.7.2015.)
- [11] Internetska stranica: <http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2009-12-285.pdf> (24.7.2015.)
- [12] Internetska stranica: <http://www.cert.hr/sites/default/files/NCERT-PUBDOC-2010-03-293.pdf> (15.7.2015.)

- [13] Internetska stranica : <http://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2003-02-05.pdf> (6.8.2015.)
- [14] Internetska stranica: <http://www.infoteh.rs.ba/rad/2010/B-III/B-III-8.pdf> (1.8.2015.)
- [15] Internetska stranica: [http://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/Zavrsni\\_rad\\_-\\_Tina\\_Zoric.pdf](http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Zavrsni_rad_-_Tina_Zoric.pdf) (1.8.2015.)
- [16] Internetska stranica: <http://www.peacebellservers.com/sr/naas> (8.8.2015.)
- [17] Internetska stranica: <https://www.scribd.com/doc/173750158/Racunarstvo-u-Oblaku> (20.7.2015.)
- [18] Internetska stranica: <http://www.tgdaily.com/enterprise/127086-99-problems-but-the-cloud-aint-one-what-are-saas-paas-and-iaas> (24.7.2015.)
- [19] Internetska stranica: <http://www.peacebellservers.com/sr/naas/vpc/> (8.8.2015.)
- [20] Internetska stranica: [http://www.carnet.hr/novosti/novosti?news\\_hk=10338&news\\_id=2178&mshow=89791](http://www.carnet.hr/novosti/novosti?news_hk=10338&news_id=2178&mshow=89791) (8.8.2015.)
- [21] Internetska stranica: [http://www.ericsson.com/hr/etk/novine/kom0109/28\\_29.pdf](http://www.ericsson.com/hr/etk/novine/kom0109/28_29.pdf) (8.8.2015.)
- [22] Internetska stranica: [http://www.service-architecture.com/articles/cloud-computing/network\\_as\\_a\\_service.html](http://www.service-architecture.com/articles/cloud-computing/network_as_a_service.html) (5.8.2015.)
- [23] Internetska stranica: <http://www.cloudcomputingadmin.com/articles-tutorials/naas/naas-future-networking-cloud-based.html> (5.8.2015.)

## Popis slika i tablica

### Popis slika

Slika 1. Cloud Computing (hrv. računalstvo u oblaku) [12].....	3
Slika 2. Povezanost front end-a i back end-a [6] .....	5
Slika 3. Centralni server [10] .....	6
Slika 4. Grid Computing [9] .....	7
Slika 5. Utility Computing [4] .....	7
Slika 6. Karakteristike računalstva u oblaku [12] .....	8
Slika 7. Javni oblak [12] .....	11
Slika 8. Privatni oblak [12] .....	13
Slika 9. Hibridni oblak [12] .....	13
Slika 10. Shema virtualizacije programa [11].....	15
Slika 11. Shema virtualizacije memorije [11].....	16
Slika 12. Potpuna virtualizacija [11].....	19
Slika 13. Paravirtualizacija [11].....	20
Slika 14. OS level virtualizacija [11] .....	21
Slika 15. Razine usluge dostupne putem računalstva u oblaku [18].....	23
Slika 16. Softver kao usluga [5].....	24
Slika 17. Platforma kao usluga [5].....	26
Slika 18. Infrastruktura kao usluga [5] .....	28
Slika 19. Network as a Service [22].....	30
Slika 20. Arhitektura NaaS modela [1] .....	35
Slika 21. Arhitektura VPN mreže [7].....	39

## **Popis tablica**

Tablica 1. Usporedba metoda virtualizacije .....	22
Tablica 2. Klasifikacija aplikacija podatkovnog centra .....	32

## Popis kratica i akronima

- API** – (engl. *Application Programming Interface*), Aplikacijsko programsko sučelje
- ATM** – (engl. *Asynchronous Transfer Mode*), Asinkroni prijenosni mod
- BoD** – (engl. *Bandwidth on Demand*), Propusnost na zahtjev
- CaaS** – (engl. *Communication as a Service*), Komunikacija kao usluga
- DaaS** – (engl. *Data as a Service*), Podatkovne datoteke kao usluge
- DC** – (engl. *Data Center*), Podatkovni centar
- DSL** – (engl. *Digital Subscriber Line*), Digitalna pretplatnička linija/petlja
- HA** – (engl. *High Availability*), Visoka dostupnost
- HAKOM** – Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti
- IaaS** – (engl. *Infrastructure as a Service*), Infrastruktura kao usluga
- INPE** – (engl. *In network processing elements*), Elementi obrade unutar mreže
- IP** – (engl. *Internet Protocol*), Internet protokol
- ISA** – (engl. *Instruction Set Architecture*), Pristup arhitekturi
- ISDN** – (engl. *Integrated Services Digital Network*), Digitalna telefonska tehnologija
- IT** – (engl. *Information Technology*), Informatička tehnologija
- LAN** – (engl. *Local Area Network*), Lokalna mreža
- MVNO** – (engl. *Mobile Virtual Network Operator*), Mobilni virtualni mrežni operator
- NaaS** – (engl. *Network as a Service*), Mreža kao usluga
- NIC** – (engl. *Network Interface Card*), Mrežna kartica
- NIST** – (engl. *National Institute of Standards and Technology*), Nacionalni institut za standarde i tehnologiju
- NREN** – (engl. *National Research and Education Network*), Akademska istraživačka mreža
- NSI** – (engl. *Network Services Interface*), Protokol za sučelje mrežnih usluga
- OSI** – (engl. *Open System Interconnection*), Otvoreni sustav integracije
- PaaS** – (engl. *Platform as a Service*), Platforma kao usluga

**RAM** – (engl. *Random Access Memory*), Radna memorija

**S2S** – (engl. *Site to Site*), „Site to Site“ VPN povezivanje

**SaaS** – (engl. *Software as a Service*), Softver kao usluga

**SLA** – (engl. *Service Level Agreement*), Ugovor o razini usluge

**VMM** – (engl. *Virtual Machine Monitor*), Sustav koji presreće, obrađuje i prosljeđuje naredbe pojedinačnih operacijskih sustava sklopovlju

**VOIP** – (engl. *Voice Over Internet Protocol*), Komunikacijska tehnologija koja omogućava prijenos zvučne komunikacije preko internetske mreže

**VPC** – (engl. *Virtual Private Cloud*), Virtualni privatni oblak

**VPN** – (engl. *Virtual Private Network*), Virtualna privatna mreža

**WAN** – (engl. *Wide Area Network*), Mreža širokog područja

**QoS** – (engl. *Quality of Service*), Kvaliteta usluge

